

Avd Byggnadsmaterial

Fuktmätning med trådlösa sensorer inom byggindustrin

**En studie av byggbranschens framtida
fuktmättningsbehov**

Anders Sjöberg
Jakob Blomgren

ISRN: LUTVDG/TVBM--04/3123--SE (1-52)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Föreliggande rapport har utförts som ett projekt inom FoU-Syd och är skriven på avdelningen Byggnadsmaterial vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Imego, Institutet för mikroelektronik i Göteborg. Studien är utförd som en litteraturstudie helt fri från mätningar och praktiska försök.

För kapitel 2 & 3 om inventering av byggbranschens behov samt kravspecificering svara i huvudsak Lunds tekniska högskola. Kapitlet riktar sig i första hand till dem som inte har någon tidigare kunskap om fuktproblem i byggbranschen, exempelvis aktörer inom elektronik- eller mätteknikindustrin.

För kapitel 4 om teknik för trådlös fuktmätning svara i huvudsak Jakob Blomgren vid Imego i Göteborg. Kapitlet riktar sig i första hand till dem som inte har specialkunskap om fuktsensorer och nätverkslösningar.

Kapitel 5 har utformats i samråd med projektets referensgrupp och remissinstanser. Referensgruppen har bestått av FoU-Syds utskottsledamöter; Claes-Göran Johannesson, ByggCompagniet i Malmö AB, Per-Anders Olsson JM, Joakim Jeppsson Skanska, Sverker Andreasson NCC, Lars Arvidsson MGA och Lars Östberg Peab.

Projektgruppen har bestått av Anders Sjöberg LTH, Fuktcentrum i Lund och Jakob Blomgren Imego AB och i styrgruppen har också ingått Christer Karström, NCC, Bengt Ström, NCC, Ted Rapp, RBK, Lars-Olof Nilsson, LTH, avd Byggnadsmaterial och Britt Borgström Sveriges Byggindustrier.

Projektet har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond SBUF. Medfinansierare till projektet genom sin egeninsats har varit Sveriges Byggindustri, NCC, RBK samt till viss del även Imego.

Alla medverkande parter tackas för givande insatser och trevligt samarbete!

Lund, december 2004

Tekn.Dr. Anders Sjöberg
Projektledare.

Sammanfattning

Rapporten innehåller en sammanställning av byggbranschens behov av att mäta fukt i byggobjekt och befintliga byggnader. Dessutom presenteras en beskrivning av befintliga sensorer och nätverksteknik som kan användas för att täcka dessa behov genom trådlös mätning.

Projektet innefattar en inventering av behoven av fuktmätning för en byggnad, i två olika skeden. Byggskedet är den mest kritiska perioden ur fuktteknisk synvinkel. Många material och byggnadsdelar kan då tidvis vara blottade för regn och annan fuktpåverkan utifrån. Under brukskedet utsätts en byggnad för olika typer av långvariga fuktbelastningar. Dels sådana som kan förutses under projekteringen, dels plötsliga och oförutsedda olyckshändelser och läckage som inte kan förutses i detalj.

Tre prioriterade mätsituationer har identifierats:

- Svåråtkomliga mätpunkter, ofta belägna inuti konstruktioner. Kravet är ett inbyggbart system som utan underhåll levererar mätvärden under lång tid.
- Svåröverskådliga mätningar, t ex klimatet på olika platser i ett byggobjekt. Kravet är system med central insamling och redovisning av mätvärden.
- Precisa mätningar för bl a slutdokumentation mot kund. Kravet är hög tillförlitlighet, sannolikt krävs anpassning för olika mätsituationer.

Rapporten redovisar dessutom en omfattande inventering av de sensorer som finns på marknaden idag samt de nätverkslösningar som kan användas i ett system för trådlös fuktmätning.

Tre trådlösa system har föreslagits för att matcha de prioriterade mät-situationerna. System finns i dag att köpa, kompletta eller som komponenter.

- Nätverk med små driftsäkra sensorer, återsändare för att öka räckvidden samt central datainsamlingsenhet som kan anslutas till Internet eller GSM-modem. Fjärranslutning och central datalagring öppnar möjligheten för en person med specialistkunskap att övervaka flera byggen samtidigt.
- Billiga sensorer med inbyggd kommunikation till ett handhållet instrument, sensorerna kan byggas in på svåråtkomliga mätpunkter. Systemet kan användas för att detektera skillnader över ett område, t ex en ytterväggssyll där flera sensorer placeras. Speciellt lämpat för små byggprojekt.
- System som bygger på mikrovågor uppvisar potential att kunna användas för indikering över stora områden. Sådana system klarar att detektera fuktiga områden samt fuktgradienter i konstruktioner.

Avslutningsvis tecknas en framtida vision för fuktmätning på byggarbetsplatsen där ett överskådligt system bevakar allting – samtidigt.

Summary

This report contains a summary of the need of the construction sector for moisture measurement in buildings under construction and in existing buildings. The report also describes sensors available at present and network techniques which can be used to satisfy these needs through wireless measurements.

The project comprises a survey of the needs for moisture measurement in a building, at two different stages. The construction stage is the most critical period from the standpoint of building physics. During this time, many materials and building components may be periodically exposed to rain and other moisture effects from the outside. During the service stage the building is subject to different types of long-term moisture loads, both those that can be predicted during design and sudden and unforeseen accidental events, as well as leaks that cannot be predicted in detail.

Three prioritised measurement situations have been identified:

- Inaccessible measurement points, often situated inside the construction. The requirement is for an embeddable system that will deliver measured values over a long time without maintenance.
- Measurements that are difficult to analyse, e.g. the climate at different places in a building. The requirement is for systems with central collection and presentation of measured values.
- Precise measurements for e.g. final documentation for the customer. The requirements are a high degree of reliability; modification is probably necessary for different measurement situations.

The report also presents a comprehensive survey of the sensors available on the market today, and of the network solutions which can be used in a system for wireless moisture measurement.

Three wireless systems have been proposed to match the prioritised measurement situations. These can be purchased at present, either as complete systems or as components.

- A network of small reliable sensors, repeaters to increase range, and a central data collection point that can be connected to the internet or a GSM modem. Remote connection and central data storage enable a person with specialist knowledge to monitor several buildings at the same time.
- Cheap sensors, with inbuilt communication to a hand held instrument, which can be embedded at inaccessible measurement points. The system can be used to detect differences over a certain area, e.g. sole plates for external walls where several sensors are set out at intervals. This is specially applicable for small construction projects.
- Systems based on microwave technology have the potential to be used over large areas. Such systems are able to detect moist areas and moisture gradients in structures.

Finally, a vision is outlined for moisture measurement on a construction site in the future where an easily overviewed system monitors everything simultaneously.

Innehållsförteckning

1. Inledning	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Dagens teknik	3
1.3 Syfte	4
1.4 Genomförande	4
1.5 Projektorganisation	5
2. Inventering av branschens behov och krav på fuktmätning	6
2.1 Byggtiden	6
2.1.1 Leveranskontroll av material	6
2.1.2 Lagringskontroll av material	9
2.1.3 Kontroll av väderskydd	11
2.1.4 Uttorkning av byggfukt	13
2.2 Brukstiden	20
2.2.1 Kontroll av fortvarighetstillståndet	20
2.2.2 Kontroll av extrema klimatförhållanden	22
2.2.3 Vakt för plötsliga/oförutsedda händelser	24
3. Kravspecifikation	27
3.1 Prioriterade mätområden	27
3.2 Svåråtkomliga mätpunkter	27
3.3 Svåröverskådliga mätningar	28
3.4 Precisa mätningar	29
4. Tekniker för trådlös fuktmätning.	30
4.1 Fuktsensorer baserade på elektrisk impedans	30
4.1.1 Sensirion	30
4.1.2 GE Panametrics	31
4.1.3 Humirel	32
4.1.4 GE Infrastructure Sensing	32
4.1.5 Honeywell	32
4.1.6 Sencera	32
4.1.7 Smartec	32
4.1.8 Thermometrics Global Bus-Edison	32
4.1.9 Ytterligare aktörer	33
4.2 Olika typer av nätverk	33
4.2.1 802.11 och WiFi	35
4.2.2 Bluetooth	35
4.2.3. 802.15.4 och ZigBee	35
4.2.5 System med egna protokoll	36

4.3 Tillverkare av attraktiva nätverklösningar	37
4.3.1 Millennial Net	37
4.3.2 Accenture Technology Labs	38
4.3.3 Crossbow	38
4.3.4 Moteiv	38
4.3.5 Helicomm	39
4.3.5 Ember	39
4.3.6 Freescale och Motorola	40
4.3.7 Zensys	40
4.3.8 Sensicast	40
4.3.9 T&D	40
4.4 Sensorlösa system	42
4.4.1 Mikrovågor	42
4.4.2 Kapacitiva och resistiva indikatorer	43
4.5 Sensorer med inbyggd kommunikation	45
4.5.1 Magnetoelastiska sensorer	45
4.5.2 SAW	45
4.5.3 Resonsanskrets.	46
4.5.4 RFID	47
4.6 System med tråd mellan sensor och kommunikationsenhet.	48
4.6.1 Betongdatorn 5.0	48
4.6.2 Intab	48
4.6.2 Ytterligare aktörer	48
5. Förslag på trådlösa mätsystem	49
5.1 System för många mätpunkter	49
5.2 Handhållna lösningar	49
5.3 Indikering över stora områden	50
5.4 En vision för uttorkning av byggfukt	50
6. Referenser	52
6.1 Övrig litteratur	52

1. Inledning

Kapitlet ger en kort bakgrund till problematiken med fuktmätning samt den teknik som används i byggbranschen idag. Här beskrivs också syftet med projektet samt dess genomförande i korta drag.

1.1 Bakgrund

Fuktrelaterade problem i byggnader kan leda till inomhusmiljöproblem, dålig luft och s.k. sjuka hus. Fuktskador hos byggmaterial kan ge upphov till nedbrytningsprocesser och därmed emissioner som kan nå inomhusmiljön.

Byggbranschen har fortfarande svårigheter att hantera byggfukt i hela processen från materialtillverkning till byggproduktion och ibrukttagande.

Branschen måste eftersträva att minimera riskerna för framtida fuktskador med kostnadseffektiva lösningar med optimala säkerhetsmarginaler. Detta kan åstadkommas genom en lämplig byggnadsutformning och genom en kvalitetssäkrad process för hela produktionskedet. Härvid är effektiva metoder för fuktmätning ett nödvändigt hjälpmedel.

Sensorer som placeras i golv, i väggar, i våtutrymmen etc. kan ge information om fuktnivån i materialet både under och efter byggnation, vilket kommer att medföra ökat mervärde både för byggherre och nyttjare. Billiga sensorer kan placeras i kritiska lägen och på så sätt kan man få en bild på hur fukten varierar i t.ex. ett betonggolv. Många mätpunkter kan göra det lättare att bestämma om golvet är tillräckligt torrt för att lägga på tätskiktet. Spårbarheten av dessa data kan användas som kvalitetsdokumentation.

Imego, Institutet för mikroelektronik i Göteborg, har tidigare arbetat i projekt för att utveckla nya metoder för fuktmätning, däribland trådlös sådan. Liknande metoder kan användas i byggbranschen för att ge möjligheter att säkrare kontrollera konstruktioner under såväl byggtid som brukstid. Bättre mätmetoder till lägre kostnader och fler mätpunkter skulle ge möjlighet att effektivare upptäcka och förebygga fuktproblem. En bättre information om vad som sker under bruksskedet i dolda konstruktionsdelar skulle också skapa ett mervärde för byggherre och nyttjare.

1.2 Dagens teknik

För fuktmätning i den svenska byggindustrin används idag nästan uteslutande två tekniker. Dels resistiva insticksgivare (trä) och dels ”kapacitiva” givare för mätning i luft (även i borrhål och provrör). Utanför byggindustrin har det däremot utvecklats en stor mängd olika fuktmätningssystem för speciella tillämpningar. Det handlar då både om stationära system med mycket hög precision och portabla system för fältmätningar.

Kabelanslutna sensorer

Betongdatorn 5.0 är ett utvecklat, RBK-godkänt, system för fuktmätning i betong på distans, se kapitel 4.6.1. Systemet lagrar sensordata i en datalogger och via GSM-länk överförs informationen till en persondator. Varje sensor är idag förbunden till en sändarenhet, via kablar, vilken kommunicerar med dataloggen.

Trådlös teknik

Med trådlösa sensorer menas att sensorns signal kan läsas ut på avstånd utan kabelförbindelse mellan sensorn och utläsningsenhet. Kommunikationen kan ske t.ex. med hjälp av en radiolänk. Med trådlösa sensorer ges möjligheter att bygga in sensorer på helt nya platser och att sensorerna kontinuerligt kan leverera mätdata under konstruktionens hela livslängd. Någon av branschens beprövade RF-givare kan tillsammans med en radiolänk bilda ett trådlöst mätsystem.

Det förekommer idag utvecklingsprojekt i andra länder som strävar efter trådlös fuktavkänning i byggbranschen. Bland annat har man i Finland provat billiga ingjutningsbara sensorer för att övervaka fuktnivån bakom tätskikt i våtrum, Voutilainen *et al* (2002), se kapitel 4.5.3. Det har dock visat sig att dessa givare på grund av sin utformning inte lämpar sig för att mäta uttorkning av betong.

1.3 Syfte

Projektet avser att i ett första steg inventera byggbranschens olika problemställningar när det gäller behov av fuktmätningar i olika skeden. Resultatet av inventeringen skall leda fram till kravspecifikationer av trådlösa fuktmätningssystem vilka sedan matchas mot dagens befintliga trådlösa teknik.

1.4 Genomförande

Inventeringen av branschens behov och krav på fuktmätning redovisas i kapitel 2 och är gjord av LTH. Den är i första hand riktad till dem som inte har någon tidigare kunskap om fuktproblem i byggbranschen. Läsaren kanske inte ens har grundläggande kunskap om byggteknik utan är en aktör inom exempelvis elektronik- eller mätteknikindustrin.

På samma sätt är inventeringen av tekniker och komponenter för trådlös fuktmätning i kapitel 4 riktad till den som inte har specialkunskap om fuktsensorer och nätverkslösningar. Denna inventering är gjord av Imego.

En stor referensgrupp har varit kopplad till projektet och fått ta del av remisser på rapporten i olika skeden. Utifrån remissvaren har LTH och Imego slutligen utformat de olika förslagen till trådlösa system som redovisas i kapitel 5.

1.5 Projektorganisation

Projektledare:

Anders Sjöberg

LTH, Fuktcentrum i Lund

Projektsamordnare:

Britt Borgström

BI region Syd

Styrgrupp:

Christer Karström (sammankallande)

NCC Construction Sverige AB

Bengt Ström

NCC Construction Sverige AB

Ted Rapp

RBK, Sverges Byggindustrier

Lars-Olof Nilsson, professor

LTH, Avd Byggnadsmaterial

Projektgrupp:

Anders Sjöberg

LTH, Fuktcentrum i Lund

Jakob Blomgren

Imego AB

Referensgrupp:

Utskottsledamöterna i FoU Syd fungerar som referensgrupp.

I gruppen ingår:

Anders Malmström,

Tage Anderssons Byggnads AB

Claés-Göran Johannesson

ByggCompagniet i Malmö AB

Per Anders Olsson

JM AB, region Syd

Lars Arvidsson

MGA Markbyggnadsgruppen AB

Christer Karström

NCC Construction Sverige AB

Jan Johansson

PEAB, division Syd

Pierre Olofsson

Skanska Hus, region Syd

Britt Borgström

BI region Syd

2. Inventering av branschens behov och krav på fuktmätning

I detta kapitel ges en övergripande sammanställning av moment under en byggnads uppförande och förvaltning där det är önskvärt för någon part att fukten kontrolleras. Genom att fukten begränsas i dessa moment ökar möjligheterna för att slutresultatet hos den färdiga byggnaden kan säkerställas under dess hela livslängd.

Sammanställningen görs med utgångspunkt utifrån byggnaden, byggprocessen och förvaltningen utan några aspekter på vilken mätteknik som skulle vara lämplig i respektive tillämpning. Texten riktar sig i främst till dem som tidigare inte har kunskap om fuktproblem i byggbranschen, exempelvis aktörer inom elektronik- eller mätteknikindustrin.

2.1 Byggtiden

Byggskedet är den i särklass mest kritiska perioden ur fuktteknisk synvinkel för en byggnad. Många av de material som finns inne i husets byggnadsdelar är ibland under långa perioder i byggskedet blottade mot regn och annan fuktpåverkan utifrån.

För att förhindra framtida problem med kvarstående fukt från byggtiden har fyra olika moment identifierats där fuktmätning är önskvärd. Dessa fyra moment är leveranskontroll av material, lagringskontroll av material, kontroll av väderskydd samt kontroll av uttorkning av byggfukt. Dessa moment beskrivs var och en för sig i detta kapitel.

2.1.1 Leveranskontroll av material

Vid köp av byggnadsmaterial kan det avtalas om vilken fuktnivå materialet skall ha vid leverans. Detta värde är många gånger kopplat till kritiska nivåer för materialets beständighet och ibland även till regler för ansvarsförhållandet.

Det är inte ovanligt att man kan beställa ett torrare material för att erhålla en extra säkerhet mot fuktskador. Bland annat köps trävirke i olika fuktkvotklasser som har torkats i varierande omfattning av säljaren. I de fallen byggaren köper ett torkat material har han betalat extra för att få en större säkerhet och då finns det skäl att kontrollera att leveransen verkligen stämmer med beställningen.

Virkespaket

Trävirke köps ofta i lösa längder som buntats ihop till stora ”paket”, se figur 1. Innan leverans från sågverket har dessa paket många gånger torkats i så kallade virkestorkar. Dessa kan jämföras med stora ugnar där virkespaketen värms upp till mycket höga temperaturer för att snabbt driva ut fukten.



Figur 1. Virkespaket lagrat utomhus.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna få en uppfattning om fuktkvoten i varje del av ett helt virkespaket samt kunna avgöra eventuella variationer mellan virke som ligger på olika platser i paketet, speciellt inne i mitten där uttorkningen är långsammast.

Trägolv

Trägolv är ofta en sammansatt produkt som består av flera lager noggrant kontrollerat och torkat virke. Det finns ofta högt ställda krav från tillverkaren om fuktnivåer som produkterna får utsättas för. Trägolv levereras ofta i inplastade paket för att inte utsättas för skadlig fuktbelastning under transport och lagring.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna kontrollera att fuktkvoten hos den förpackade produkten inte överskrider eller underskrider angivet gränsvärde. Mäta absolutnivå samt eventuella variationer på olika platser i paketet.

Prefabricerade byggnadselement

Byggnadsdelar kan förtillverkas på fabrik för att sedan transporteras i moduler som monteras ihop på byggarbetsplatsen. Dessa moduler benämns ofta prefabricerade byggelement. Det är exempelvis vanligt att bygga färdiga väggar och tak av trä till småhus på fabrik, se figur 2. Dessa ”plana byggelement” paketeras tillsammans i paket som oftast plastas in så de blir väderskyddade under lagring och transport.



Figur 2. Plant byggnadselement i form av hel vägg.

Ibland byggs hela "lådor" bestående av golv, väggar och tak färdigt på fabrik. Dessa så kallade volymelement stagas upp innan transport och tätas med plastfolie på de öppna sidorna där de sedan skall fogas samman. Därefter lastas de på lastbil för transport till byggarbetsplatsen där de lyfts på plats och monteras ihop. Ibland kan dessa volymelement innehålla speciell utrustning som exempelvis "våtrumselement" som kan vara kompletta badrum med inredning, färdiga att lyftas på plats och anslutas till rörledningarna.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna kontrollera att fuktkvoten i elementen inte överskrider angivet gränsvärde. Absolutnivå samt eventuella variationer på olika platser i elementet.

Plattbärlag

Förtillverkade plattbärlag kan användas som en kvarsittande form då man gjuter bjälklag. Dessa plattbärlag finns i många olika varianter. Vanliga varianter är slakarmerade massiva plattor (D), förespända plana massiva plattor (D/F), slakarmerade TT-bjälklagsplattor (TT), förespända TT-bjälklagsplattor (TT/F) samt förespända hålplattor (HD/F) enligt Betongelementföreningens handbok.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna kontrollera att fuktnivån i elementen inte överskrider angivet gränsvärde. Absolutnivå samt eventuella variationer på olika platser i elementen.

Självuttorkningsbetong

Betongen som köps färsk kan skräddarsys med en mängd olika egenskaper. Detta sker genom att betongstationen proportionerar sammansättningen av delmaterial och ibland även använder små mängder av speciella tillsatsmedel. På det sättet kan man bland annat tillverka så kallad byggfuktfri betong vars egenskaper gör att den till och med kan torka under vatten.

Behov: Snabbt och enkelt kunna kontrollera att den färska betongen som levereras i betongbil kommer att få rätt fukttillstånd sedan den härdat i gjutformen.

Krav: Mätningen skall helst kunna utföras innan betongen töms i gjutformen.

2.1.2 Lagringskontroll av material

Klimatskyddad lagring av byggnadsmaterial på en torr plats är viktigt för att material som tidigare torkats inte skall bli uppfuktade i väntan på montage. Vanligtvis finns det inga ordentliga lagringslokaler i anslutning till en byggarbetsplats utan detta får ordnas med tillfälliga lösningar. Det förekommer bland annat att tält, pressningar samt delar av den byggnad som byggs utnyttjas för väderskyddad lagring.

Virkespaket

Trävirke som levereras till byggarbetsplatsen har i de flesta fall torkats till en rimligt låg nivå på sågverket. Det är viktigt att träet får fortsätta att torka ut för att komma ned till en tillräckligt låg fuktnivå innan det byggs in i konstruktionen och täcks med mer eller mindre täta ytskikt.

Virket levereras i stora buntar som ibland är inplastade för att skydda mot nederbörd. Denna plast kan avlägsnas om virket förvaras på varm och torr miljö för att säkerställa fortsatt uttorkning.

Behov: Att kunna övervaka torkklimatet samt få en uppfattning om fuktkvoten och torkförloppet i varje del av ett helt virkespaket. Att kunna avgöra eventuella variationen mellan virke som ligger på olika platser i bunten, speciellt inne i mitten där uttorkningen är långsammast.

Träskivor

Träskivor till bland annat väggar och golv levereras i travar som ofta plastas in för skydd mot nederbörd. Skivornas fuktnivå är ofta noggrant styrda under tillverkningen och tillverkaren har ofta krav på vad skivorna får utsättas för under transport och lagring för att de inte skall riskeras att skadas. Även efter inbyggnad kan deformationsskador på skivmaterial av trä uppstå om fuktnivån överskrider materialets kritiska värde.

Ofta kan det vara önskvärt att öppna inplastningen på skivbuntarna för att egenemissioner från limmet i skivorna och eventuella lacker med mera skall kunna avgå. Det är då viktigt att klimatet i lagringsutrymmet är så torrt att skivorna inte fuktas upp över den kritiska nivån.

Behov: Att kunna övervaka torkklimatet samt få en uppfattning om fuktkvoten och torkförloppet hos skivorna i traven. Kunna avgöra eventuella variationer mellan skivor på olika platser i traven, speciellt de i toppen och botten som är mest utsatta för yttre påverkan.

Trägolvmaterial

Trägolvet är ofta en sammansatt produkt som vanligtvis har stränga krav från tillverkaren om de fuktnivåer som produkterna får utsättas för. Trägolvet levereras ofta i inplastade paket för att inte utsättas för skadlig väderbelastning under lagring och transport.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna kontrollera att fuktkvoten hos den förpackade produkten inte överskrider eller underskrider angivet gränsvärde. Absolutnivå samt eventuella variationer på olika platser i paketet.

Gips

Gipsskivor används bland annat till att klä regelstommen på de sidor som vetter in mot rummet. Vanligtvis levereras skivorna i travar som plastas in för skydd mot nederbörd. Skivornas fuktnivå är noggrant styrda under tillverkningen och kraven under transport och lagring är stränga eftersom skivorna annars lätt kan skadas. Även efter inbyggnad kan fuktskador uppstå på gipsskivorna om de exempelvis står med underkanten mot ett fuktigt underlag.

Behov: Att kunna övervaka lagringsklimatet samt få en uppfattning om fuktnivån hos kvarvarande skivor i traven. Kunna avgöra eventuella variationen mellan skivor på olika platser i traven, speciellt de i toppen och botten som är mest utsatta för ytterpåverkan.

Isoleringsmaterial

Isoleringsmaterial är främst sten- och glasull (mineralull) som levereras i inplastade balar samt cellplastskivor som levereras staplade i paket. Vid höga fuktnivåer kan mineralull avge en oangenäm doft som närmast kan liknas vid katturin. Om mineralullen innehåller stora mängder fukt kan träreglarna, som de monteras tillsammans med, fuktas upp. Mineralullen har en stor fuktupptagningsförmåga medan cellplastisolering vanligtvis är så pass tät att fukten har mycket svårt att transporteras in och ansamlas.

Även efter inbyggnad kan mineralull fuktas upp till långt över skadliga nivåer vid läckage eller om väderskyddet har brister.

Behov: Att kunna övervaka lagringsklimatet samt få en uppfattning om fuktnivån i mineralullsbalar. Kunna kontrollera fuktnivån i mineralull utan konstruktionsingrepp, efter att den monterats i exempelvis en utfackningsvägg.

Håldäcksbjälklag

På byggarbetsplatsen lagras ofta håldäcksplattorna (figur 6) utomhus i travar innan de monteras. Väderskyddet saknas ibland vilket då kan medföra att plattorna suger åt sig nederbörd och annan fukt. Om pluggarna i de genomgående hålen saknas kan även dessa bli delvis vattenfyllda under

lagringen. En viktig åtgärd för att hindra stående vatten i hålen är att kontrolleras dräneringshålen efter montage och vid behov borra upp dem.

Konstruktionens torktid vid pågjutning ovanpå ett fuktigt håldäcksbjälklag kan vara kraftigt förlängd mot om bjälklaget är torrt från början.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna avgöra fuktnivån i håldäcksplattor utan förstörande provtagning.

Lättbetongelement

Om väderskyddet är bristfälligt vid lagring eller montage av lättbetongelement kan de suga åt sig stora mängder fukt som sedan tar lång tid att torka ut.

Behov: Att snabbt och enkelt kunna avgöra fuktnivån i lättbetongelement utan förstörande provtagning.

2.1.3 Kontroll av väderskydd

Komplett väderskyddat byggande där man klär in hela byggobjektet med ett tält är önskvärt ur fuktsäkerhetssynpunkt, men än så länge ganska ovanligt. Se figur 3. Väderskyddets primära uppgift är att hindra nederbörden att fukta upp byggnaden innan dess eget klimatskal är på plats. En bieffekt som uppnås med ett väderskydd är att arbetsklimatet blir mildare under stora delar av byggsäsongen eftersom vind, nederbörd och i viss mån även kylan stängs ute.



Figur 3. Väderskyddat byggande där byggobjekten helt klätts in med ett tält.

Det vanligaste är dock att byggnadens klimatskal även får fungera som väderskydd under byggprocessen. Detta innebär med andra ord att väderskyddet är högst begränsat innan yttertaket och ytterväggarna, med samtliga dörrar och fönster, kommit på plats.

Klimatet inne i väderskyddet

Klimatet inne i väderskyddet är på många sätt avgörande för byggnads-materialens fuktnivå. Det kan ofta direkt jämföras med ett uttorkningsklimat då många av byggnadsmaterialen innehåller byggfukt som behöver torkas bort. Se även avsnittet om uttorkningsklimat.

Behov: Att kunna övervaka vattenläckage hos väderskyddet. Att kunna följa klimatet inuti väderskyddet, inklusive få en bild av variationer i klimatet på olika platser. Gärna följa klimatet i tiden och larma om det avviker från förväntade värden.

Krav: Mäta klimatet i hela väderskyddet, inklusive nära kritiska materialytor. Med en rimlig mätosäkerhet till en skälig kostnad.

Bjälklagsytor och schakt

I de fall som byggarbetsplatsen saknar extra väderskydd är bland annat betongbjälklagen hårt fuktbelastade. Ingen säker uttorkning av byggfukten kan komma igång innan byggnadens klimatskal är tätat. Det förekommer även att vatten från exempelvis nederbörd kan bli stående på bjälklagsytor eller i värsta fall rinna in och fylla rörschakt och andra ihåliga konstruktioner. Betongen riskerar i dessa situationer att bli vattenmättad vilket kan förlänga uttorkningsfasen när den väl kommer igång.

Behov: Att få en tidig indikation att fritt vatten står på horisontella betongytor. Speciellt viktigt på ytor som annars inte skulle ha uppmärksammats.

Ytterväggarnas syllar

I de fall som byggnadens klimatskal utgör väderskyddet är nederkant av ytterväggarna extra hårt fuktbelastade. Vatten som blivit stående på bjälklaget riskerar att snabbt sugas upp i syllarna. Värst utsatt är dock ytterväggens syll i skarvarna. Även anslutningen mellan den stående väggregeln och syllan är kritisk.

Behov: Att kunna bedöma fuktillståndet hos träregelstommen även sedan invändiga skivor, mellanliggande isolering och fasarbeklädnaden kommit på plats. Mätning av hela syllan, speciellt på undersidan, i hörn samt vid skarvar.

Krav: Mätningen skall ha rimlig liten osäkerhet och helst utföras utan konstruktionsingrepp.

Underkant gipsskivor

Gipsskivor används ofta som väggmaterial tillsammans med trä- eller stålreglar. Gipsskivorna monteras då stående mot den uppreglade väggen. Gipsskivorna kan suga upp fukt om underkanten kommer i kontakt med stående vatten på golvet, fuktiga syllar eller ett blött betonggolvet.

Behov: Att kunna bedöma fukttillståndet hos gipsskivor. Snabbt kunna avgöra hur stor del av skivan som är fuktig samt om detta kan medföra bestående skada. Även kunna avgöra om den inre skivan är fuktig då dubbelgips monterats.

Krav: Mätningen skall ha rimlig liten osäkerhet och helst utföras utan konstruktionsingrepp. Önskvärt att snabbt kunna skanna av stora väggytor.

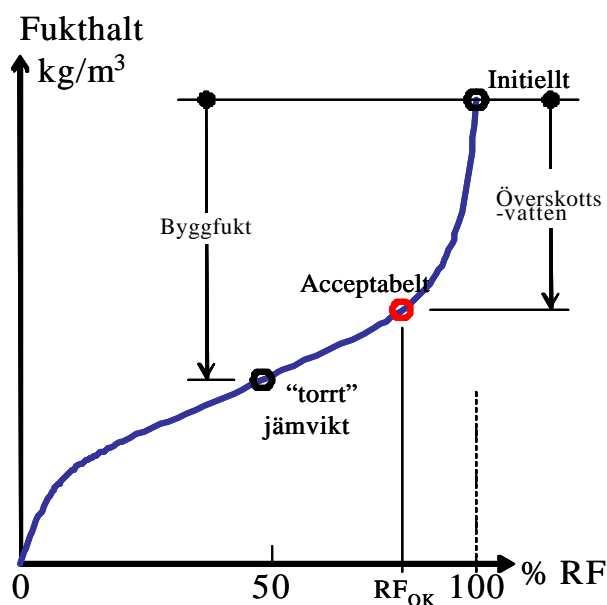
Isoleringsmaterial

Isoleringsmaterial av främst sten- och glasull kan innehålla stora mängder fukt om de utsätts för nederbörd. Isolerade ytterväggar samt i viss mån även bjälklag är riskkonstruktioner, speciellt om byggnadens klimatskal används som väderskydd under byggtiden.

Behov: Att kunna bedöma fuktnivån hos olika typer av isoleringsmaterial, även efter att den byggts in i konstruktionen. Kunna bedöma variationer i fuktnivån på olika platser i isoleringen och hitta lokala områden som uppfuktats.

2.1.4 Uttorkning av byggfukt

Med byggfukt menas ofta den mängd fukt (kg/m^3) som behöver torkas bort för att ett material skall bli ”torrt”, d v s komma i jämvikt med omgivningen. I figur 4 visas att ett material med en initial relativ fuktighet av 100 % (RF) även innehåller en ansenlig mängd överskottsvatten som måste torkas bort innan fukttillståndet blir acceptabelt och underskrider en kritisk nivå, RF_{OK} .



Figur 4. Definition av byggfukt. Källa Lars Olof Nilsson.

Byggfukt uppkommer naturligt vid tillverkning av många av våra vanligaste byggnadsmaterial. I de fall materialet ”tillverkats” direkt på byggarbetsplatsen måste uttorkning av byggfukt naturligtvis ske under byggtiden, exempel kan vara gjutning av en betongkonstruktion. I andra fall kan byggfukten torkas ut av materialtillverkaren innan transport från fabrik, se stycket om mottagningskontroll.

Vanligtvis är det cementbaserade material som gjutits direkt på plats (tex. ”platsgjuten betong”) som innehåller stora mängder byggfukt som måste torkas bort under byggtiden. Vanligtvis torkas platsgjutna betongbjälklag till 85-90 % RF (relativ fuktighet). Ett annat material som ibland behöver torkas på byggarbetsplatsen är trävirke som köpts i en högre fuktkvotklass än gränsvärdet för den färdiga konstruktionen, eller uppfuktats av nederbörd på grund av bristande väderskydd. Vanligtvis torkas träregelstommar till 16 – 18 % FK (fuktkvot) eller lägre.

Betongbjälklag

Golv i byggnader är en utsatt konstruktion vars beläggningar ofta drabbas av fuktrelaterade skador. Uttorkningsfasen för nygjutna betonggolv tar vanligtvis flera månader efter att byggnadsskalet blivit tätt, se figur 5. Med tät byggnad menas att hela taket, samtliga ytterväggar dörrar och fönster är på plats, dvs att klimatet inne i byggnaden inte längre behöver vara en följd av klimatet utanför. Under uttorkningen skall omkring 50 – 100 kg vatten avgå per m³ betong för att fuktnivån skall sjunka till önskade nivåer.



Figur 5. Gjutning av betongplatta med underliggande cellplastisolering. Betongkonstruktionen lämnas ofta oskyddad under byggskedet.

För att avgöra om betongen är tillräckligt torr brukar man vanligtvis mäta RF i luften i porerna i betongen på de platser som bedöms vara representativa för konstruktionen. Mätningen sker antingen genom att man tar ut ett materialprov som analyseras på laboratorium eller genom att man mäter i ett borrat mäthål som fodrats med ett rör för att endast bottenytan skall exponeras i mätningen. För att välja den plats som är representativ för bjälklaget används ibland en

fuktindikator för att skanna över stora ytor. I andra fall väljer man helt enkelt en lämplig plats med representativ konstruktionsutformning där ingreppet inte är i vägen för den övriga verksamheten.

Mätningen utförs på ett speciellt mätdjup där fuktnivån motsvarar medelnivån för hela snittet av betongen i konstruktionen under normala uttorkningsförhållanden. Dock är metoden osäker eftersom man inte idag med säkerhet kan avgöra om det aktuella torkförloppet i byggnaden överensstämmer med det normala torkförloppet som förutsätts. Mätdjupet är vanligtvis 40 % av konstruktionens tjocklek vid enkelsidig uttorkning och 20 % av tjockleken vid dubbelsidig uttorkning av fukten.

Behov: För att säkert kunna avgöra betongkonstruktionens aktuella fuktillstånd under uttorkningen krävs bättre mätningar än idag. En endimensionell fuktfördelning vinkelrätt från ytan och in i betongen skulle ge en säkrare bedömning av kvarvarande byggfukt på den aktuella mätplatsen.

En tvådimensionell fuktfördelning över hela betongbjälklaget skulle visa på de normala lokala variationerna av fuktillståndet samt även på de enstaka platser där oförutsedda händelser som läckage har ägt rum. Där kan en begränsad punktinsats sättas in och lösa problemet.

Genom att logga mätningar eller på annat sätt följa torkförloppet hos betongbjälklaget kan man få en bättre uppfattning om uttorkningen löper som planerat eller om något oväntat problem dykt upp. Denna information kan i ett tidigt skede av torkfasen utnyttjas till att dimensionera torkinsatsen så att förseningar i tidplanen undviks.

Dagens mätmetoder medför att man måste göra oönskade konstruktionsingrepp. En icke förstörande mätmetod där mätning utförs genom materialytan eller med ingjutna sensorer skulle i många fall vara att föredra.

Krav: Mätningens osäkerhet skall vara liten, helst mindre än mätonoggrannheten i dagens mätningar. Idag utförs noggranna mätningar med en total kombinerad standardiserad osäkerhet av 2-3 % RF (täckningsfaktor $k = 2$), för hela metoden inklusive handhavande och instrumentets kalibrering.

Priset för en noggrann fuktmätning enligt system RBK är (i skrivandets stund) i intervallet 500 – 2 500 + moms, enligt konsulters prislistor som publicerats på Internet. Det angivna prisintervallet inbegriper även faktorer som antal mätningar på samma objekt, mätmetod, arbetstid och en kortare resa.

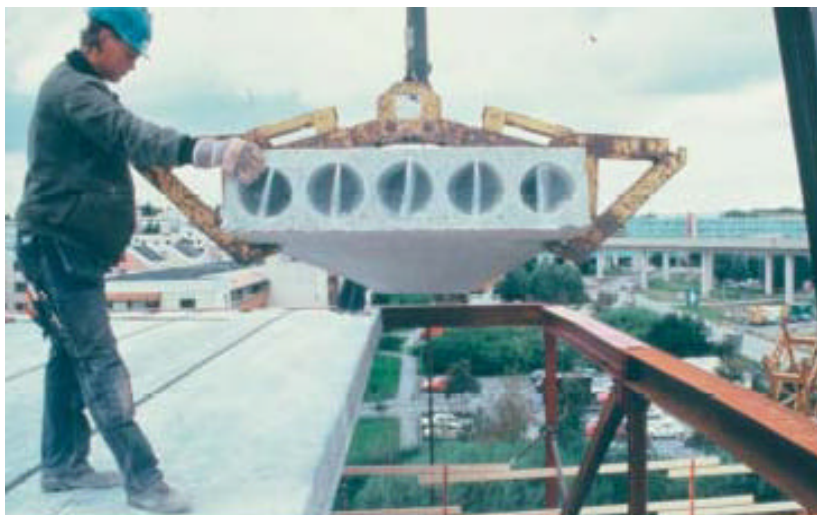
Håldäcksbjälklag

Ett vanligt stomsystem för byggnader är pelare av stål eller betong på vilka man monterar prefabricerade bjälklagsplattor. Vanligtvis bygger man detta system på en platsgjuten betongplatta och med prefabricerade väggelement.

De prefabricerade bjälklagsplattorna eller –elementen som används är ofta av typen HD/F, som står för ”håldäck, förspänd”. Det innebär att plattorna har stora genomgående kanaler som utsparningar för att minska materialåtgång

och vikt samt att armeringen i plattorna är förspänd vilket får till följd att hela plattan blir lite grann böjd som en bågbro.

Efter montering av HD/F-plattorna fixeras dom ofta med en igjutning av skarvarna. Se figur 6. På plattorna monteras vanligtvis ett uppreglat övergolv eller görs en pågjutning med betong eller avjämningsmassa.



Figur 6. Montering HD/F-bjälklag på stålstomme.

Vanligtvis gjuts HD/F-plattorna av betong med hög kvalitet som torkar fort på fabriken. De genomgående hålen pluggas av de flesta fabriker innan elementen transporteras ut på lagergården. Det är sällsynt med väderskyddad lagring inomhus i väntan på transport till byggarbetsplatsen. Transport till, samt lagring på, byggarbetsplatsen kan också många gånger ske utan fullgott väderskydd. Detta medför att plattornas fuktnivå kan variera beroende på rådande väderförhållanden.

HD/F-plattorna har dräneringshål vid ändarna så att fritt vatten som blivit stående i de genomgående kanalerna kan komma ut. Dock kan dräneringsfunktionen sluta att fungera för att hålet sätts igen. Ibland händer detta i samband med igjutningen av skarvarna på plattornas kortsida. Av statiska skäl kan kanaler fyllas med betong punktvis. Detta gör att kanalerna styckas upp i kortare segment varvid vatten i de mittersta delarna ej kan rinna ut till dräneringshålen. Fuktrisker med håldäcksbjälklag är omsorgsfullt beskrivna i en SBUF-rapport, Brander (2004).

Behov: Att kunna avgöra om det finns fritt vatten i kanalerna. Samt i vilken omfattning detta vatten har påverkat fuktnivån i betongplattan. Att mäta fuktnivån i håldäcksbjälklaget, se även kapitel om leveranskroll.

Krav: Att säkerställa att det inte finns något kvarstående vatten i HD/F-plattornas kanaler efter montering, till en rimlig kostnad.

Pågjutningar och avjämnningar

För att uppnå en jämn yta och därefter kunna applicera ytskikt på en annars ojämn konstruktion, används ofta olika typer av pågjutningar och avjämnningar. Ett exempel kan vara att gjuta betong ovanpå HD/F-plattor eftersom dessa ofta är förhöjda i mitten. På det sättet åstadkoms en plan, jämn och stabil konstruktion som direkt lämpar sig som underlag för många typer av golvbeläggningar. Vid en sådan pågjutning påförs dock ansenliga mängder byggfukt till konstruktionen som sedan behöver torkas ut.

Avjämningsmassor kan enkelt uttryckt jämföras med betong utan stora stenar som dessutom innehåller tillsatsmedel för att lättare flyta ut till en jämn och plan yta. Även vid läggning av avjämningsmassa tillförs byggfukt till konstruktionen.

Behov: För att säkert kunna bedöma konstruktionens fuktillstånd krävs mätningar av både fuktprofiler och –utbredning, gärna med avseende på tiden. Jämför med behov vid betongbjälklag.

Krav: Mätningens osäkerhet skall vara rimligt liten, helst mindre än dagens mätningar. Jämför med krav vid betongbjälklag

Lättbetongbjälklag / -väggar

Lättbetongelement tillverkas nästan uteslutande på fabrik i dag. I korthet består dessa element av betong utan stora stenar men med iblandning av aluminiumpulver. Aluminium fungerar enkelt uttryckt som ett ”jäsmedel” som skapar materialets porstruktur. Denna typ av material kan innehålla stora mängder byggfukt, upp mot 100 – 200 kg vatten per m³.

Lättbetongelement används exempelvis till stora industrierhallar där de ofta kombineras med en bärande stomme av stål och / eller betong. Lättbetong passar utmärkt till ytterväggar eftersom den har en isolerande förmåga samt är lätt att arbeta med. Elementen kan sågas till rätt form med en vanlig fogsavns samt fästas samman provisoriskt med spik och hammare.

Behov: Med en oförstörande metod mäta kvarvarande byggfukt i dessa lättbetongselement innan de eventuellt kläs med täta ytskikt.

Cementstabiliserad lättklinkerfyllning

Vid igjutning av stora volymer med ringa belastningen används ofta expanderade lerkulor som fyllnadsmaterial, så kallat lättklinker. För att erhålla önskad bärförmåga, så att bädden av lättklinkerkulor exempelvis kan beträdas, blandas kulorna med en lätrinnande cementslurry.

Efter att den cementstabiliserade lättklinkerfyllningen härdat erhålls ett material med en stor fri porvolym som kan ta upp betydande mängder fukt vid exempelvis ett regn om väderskyddet är bristfälligt. Det kan ibland stå i det närmaste fritt vatten i den nedre delen av konstruktionen.

Behov: Med en oförstörande metod mäta kvarvarande byggfukt i dessa cementstabiliserade lättklinkerfyllningar.

Träregelstommar

I stora delar av landet är det vanligt att bygga en- och tvåvåningshus med en bärande stomme av träreglar. Antingen kan stommen byggas av löst virke direkt på byggarbetsplatsen eller så kan byggelement av trä byggas på fabrik och sedan transporteras ut till byggarbetsplatsen för montage. Byggelement av trä behandlas mera i kapitlet om leveranskontroll.

Hus med platsbyggda trästommar är känsliga för nederbörd och måste väderskyddas om virket inte skall bli fuktigt, se figur 7. Trävirke som blir blött under byggtiden löper större risk att få mikrobiell påväxt som kan påverka inomhusmiljön senare under byggnadens livslängd, även fast konstruktionen får torka ut, än virke som byggs torrt.



Figur 7. Hus byggt av träregelstomme utan väderskydd. Vad händer om det regnar i natt?

En annan vanlig träkonstruktion är så kallade utfackningsväggar, se figur 8. Det innebär i korthet att husets ytterväggar är uppbyggda som träregelväggar medan den bärande konstruktionen är av stål och / eller betong. Det kan exempelvis vara stålpelare eller platsgjutna betonginnerväggar tillsammans med prefabricerade eller platsgjutna betongbjälklag. Fuktproblemen vid utfackningsväggar är snarlika dem vid träregelstommar.



Figur 8. Stålstomme med utfackningsväggar samt utfackningsvägg av träreglar och skivor inifrån innan.

Behov: Att kunna bedöma fuktillståndet hos träregelstommen även sedan invändiga skivor, mellanliggande isolering och fasarbeklädnaden kommit på plats. Mätning av hela syllen (det liggande virket längst ned i väggen som ansluter mot golvet), speciellt på undersidan, i hörn samt vid skarvar.

Krav: Mätningen skall ha rimlig liten osäkerhet och helst utföras utan konstruktionsingrepp.

Uttorkningsklimat

Uttorkningsklimatet på byggarbetsplatsen är den i särklass viktigaste parametern under byggtiden för att undvika fuktproblem. I en väderskyddad miljö med hög temperatur och låg fuktighet finns de bästa förutsättningarna för snabb uttorkning av byggfukt.

Uttorkningsklimatet påverkas om byggnaden inte är tätad i alla fönster- och dörröppningar. För att förbättra uttorkningsklimatet och påskynda uttorkningsförloppet används ofta byggvärme och –avfuktare enskilt eller i kombination med varandra.

Behov: Att kunna följa och övervaka uttorkningsklimatet i en byggnad under uppförande. Mäta klimatet nära / på materialytan eftersom det är det som styr hela materialets uttorkning. Gärna följa klimatet i tiden och larma om det avviker från förväntade värden.

Krav: Mäta klimatet (RF och temperatur) i hela byggnaden, inklusive nära kritiska materialytor. Med en rimlig mätosäkerhet till en skälig kostnad.

2.2 Brukstiden

Under bruksperioden utsätts en byggnad för många olika typer av långvariga fuktbelastningar. I de flesta fall kan dessa förutses i förväg och i viss mån projekteras för med fuktsäkra lösningar. Det förekommer också plötsliga och oförutsedda fuktbelastningar i form av läckage och olyckshändelser som inte i detalj kan förutses på samma sätt.

Ombyggnad och andra förändringar av en byggnad kan leda till att viktiga funktioner inte längre upprätthålls på ursprungligt sätt. Exempelvis kan en tegelfasad hamna i ett fuktkritiskt tillstånd efter att en invändig isolering utförts.

För att kontrollera att byggnaden fungerar som planerat och vara en tidig vakt om något går snett har tre olika moment identifierats där fuktmetning är önskvärd. Dessa tre moment är kontroll av fortvarighetstillståndet, kontroll av extrema klimatförhållanden samt vakt för plötsliga / oförutsedda händelser. Dessa moment beskrivs var och en för sig i detta kapitel.

2.2.1 Kontroll av fortvarighetstillståndet

En byggnads beständighet är bland annat beroende av att den fukttekniska statusen upprätthålls. I korthet menas att fuktnivån i känsliga byggnadsdelar inte blir högre än deras högsta tillåtna fuktnivå. I många fall kan ett verktyg vara att följa och kontrollera fuktillståndet i byggnadens konstruktion på kritiska och / eller karakteristiska platser för att säkerställa den långsiktiga beständigheten. Förvaltaren får på så sätt en tidig förvarning och kan åtgärda skadan innan den blivit allt för omfattande.

Ibland har de mest fukt känsliga byggnadsdelarna projekterats särskilt med avseende på sina fuktbelastningar. Men ofta har man bara använt erfarenhetsbaserade lösningar och då kan det vara viktigt att komplettera med en vakt som visar att byggnadsdelen fungerar som avsett.

Omprojektering

Underlag som används för projektering vid en om- eller tillbyggnad omfattar i många fall en statusbedömning av de befintliga delarna. I en sådan bedömning kan mätningar av den rådande fuktnivån ingå för att avgöra den fukttekniska funktionen hos byggnaden.

När byggnaden tas i bruk igen efter om- / tillbyggnaden kan nya mätningar utföras för att återkoppla till de projekterade värdena, se även avsnittet om funktionsgaranti.

Behov: Att snabbt kunna bedöma fukttekniska funktionen hos en hel byggnad. Fukttillståndet hos olika typer av konstruktioner som dessutom ofta kan vara sammansatta av olika typer av material.

Krav: Mätningen skall kunna täcka stora ytor men ändå ge precisa värden där så krävs. Detta kan dock göras i två steg. Med en rimlig mätosäkerhet till en skälig kostnad.

Funktionsgaranti

Mätningar av fuktnivåer under fortvarighetstillståndet kan vara ett verktyg för kontroll att de funktionskrav som ställts i samband med en generalentreprenad uppfyllts. Mätningen syftar då till att jämföra den faktiska fuktnivån hos utsatta konstruktionsdelar med de krav på tillåtna nivåer som ställts upp i början av projekteringen.

Behov: Att kontinuerligt kunna följa fuktillståndet hos utvalda konstruktionsdelar. System uppbyggt av driftsäkra komponenter som kräver ett minimum av underhåll, om ens något. Enkel montering samt lättförståligt resultatpresentation som kan förstås utan ingående bakgrundskunskap om fukt.

Krav: Mätningen skall ha rimlig liten osäkerhet och helst kunna döljas så den inte stör byggnadens brukare.

Kondensvakt

Många av konstruktionerna i våra byggnader lever med risken att fukten kan kondensera inne i dem. Detta är farligast i de fall där luft som fått ett stort fuktillskott inne i byggnaden kommer i kontakt med klimatskalet. Om den fuktiga luften kan tränga in i konstruktionen och träffa på kallare zoner kan fukten falla ut som kondens.

Risken för kondens har visat sig vara speciellt hög i simhallar och tryckerier på grund av stora fuktillskott i kombination med höga temperaturer. Dock förekommer det även en betydande risk för kondensation om lufttätheten hos vindbjälklaget i en normal villa är bristande. Se kapitel 2.2.2, kontroll av extrema klimatförhållanden.

Behov: Att kontinuerligt kunna följa fuktillskottet samt fuktillståndet på olika platser i klimatskalet System uppbyggt av driftsäkra komponenter med en lättförståligt resultatpresentation.

Krav: Mätningen skall ha rimlig liten osäkerhet och helst kunna döljas så den inte stör byggnadens brukare.

I ”tveksamma” konstruktioner

De konstruktioner som används i våra byggnader är ofta en kompromiss för att tillfredställa många olika krav. Även den mest önskvärda kompromissen kan i många fall vara behäftad med markanta fuktrisker. Ett sätt att minska riskerna med dessa önskvärda konstruktioner är att kontinuerligt bevaka deras fukttekniska funktion för att snabbt kunna ingripa om något onormalt inträffar.

En sådan konstruktion kan vara uppreglade golv där ibland även trycksatta vattenrör läggs. I dessa konstruktioner kan en liten läcka från ett rör eller genom ytterväggen breda ut sig under lång tid innan den upptäcks. Det är först när golvet ger vika eller det rinner över nå gonstans som problemet kan uppdagas om det inte finns någon vakt.

Behov: Att kontinuerligt kunna övervaka fukttillståndet i tveksamma system uppbyggt av driftsäkra komponenter med en lättförståligt resultatpresentation.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet och helst kunna döljas så den inte stör byggnadens brukare.

2.2.2 Kontroll av extrema klimatförhållanden

Några av byggnadsdelarna i våra hus har tidvis under året klimatförhållanden som ligger nära gränsen av vad de tål. Det mest utsatta byggnadsdelarna är sådana som i hög grad påverkas av uteluftens variationer. En onormalt kall vinter eller regning höst kan många gånger innebära att det uppkommer omfattande skador hos dessa konstruktioner.

Kryprumsgrunder

Klimatet i uteluftventilerade kryprumsgrunder är en direkt följd av uteluftens tillstånd och variationer. Under regniga perioder på sensommaren / hösten ”ventileras” varm fuktig luft in i kryputrymmet där det är markant svalare. Uteluftens fuktighet tillsammans med eventuell markavdunstning kan leda till kondensutfällning och fuktproblem på blindbotten (bjälklaget) och andra svala ytor. Figur 9 visar en kryprumsgrund av lättbetongblock med ett lager singel på marken.



Figur 9. Kryprumsgrund

En vakt av klimatet (RF och temperatur) i kryprumsgrunden för att varna när fuktillståndet överstiger det tillåtna fuktillståndet för materialen i kryprumsgrunden och eventuellt vara kopplad till en behovsstyrd avfuktare.

Behov: Att kontinuerligt kunna övervaka fuktillståndet i grundens kryp-utrymme. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med möjlighet att styra en avfuktare.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet, vara lättanvänd samt ha ett skäligt pris.

Kallvindar

Klimatet på uteluftventilerade kallvindar är en direkt följd av uteluftens tillstånd och variationer samt luftläckaget genom vindsbjälklaget. Under kalla klara nätter kan utstrålningen från taket sänka temperaturen på råsponen (takets insida) i sådan omfattning att kondens uppstår.

Figur 10 visar en kallvind av trä med synliga takstolar av kantställda plankor.



Figur 10. Kallvind interiört.

Små läckage i vindsbjälklagets lufttätning kan på grund av tryckskillnader släppa upp stora mängder fuktig luft till kallvinden under eldningssäsongen. Principen för övertrycket uppe under innertaket kan då enkelt uttryckt jämföras med det som uppkommer inuti en varmluftballong.

En vakt av klimatet på kallvinden kan varna vid farligt fuktiga nivåer och eventuellt vara kopplad till en behovsstyrd avfuktare, alternativt värmare.

Behov: Att kontinuerligt kunna övervaka fuktillståndet på vinden. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med möjlighet att styra en avfuktare.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet, vara lättanvänd samt ha ett skäligt pris.

2.2.3 Vakt för plötsliga/oförutsedda händelser

Plötsliga och oförutsedda händelser har många gånger en begränsad utbredning. Dock kan skadeförloppet vara mycket snabbt och konsekvenserna bli omfattande om åtgärder inte sätts in omgående. Det är många gånger svårt att i förväg placera ut vakter på de platser som skador kommer att uppstå eftersom man inte kan förutsäga exakt var detta skall ske.

I vissa fall kan man lösa detta genom att styra fuktflödet från en eventuell läcka någonstans i ett stort område till en viss punkt där en vakt placeras. I andra fall är det nödvändigt att placera ut ett större antal vakter i anslutning till varandra för att täcka in området i fråga.

Många av frågeställningarna med vattenskador i byggnader redovisas i VASKA (2002).

Bakom tätskikt

Konstruktionen bakom tätskikten i våtrum tål ofta inte att bli utsatta för höga fuktnivåer. En liten skada i tätskiktet kan därför orsaka stor skada som ofta medför att konstruktionen måste öppnas upp och torkas ut. I många fall kan det dessutom vara nödvändigt att byta ut stora delar av den fuktskadade konstruktionen.

Det är möjligt att minska skadans omfattning om ett litet läckage i tätskiktet upptäcks i tid. Detta skulle vara möjligt att göra med en vakt som placerades på utsatta eller karakteristiska platser i konstruktionen bakom tätskiktet. Golvbrunnar, rör genomföringar och fästpunkter för inredning där man penetrerat tätskiktet är speciellt utsatta. Idealt kan ett stort antal vakter placeras ut som tillsammans täcker hela tätskiktets yta.

Behov: Att kontinuerligt kunna övervaka fuktillståndet i konstruktionen bakom tätskiktet. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med en lättförståeligt resultatpresentation.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet och helst kunna döljas så den inte stör byggnadens brukare.

Golvbrunnar

Området omkring golvbrunnar är extra drabbat av fuktskador. Dels kan själva brunnen spricka och korroderar så att en läcka uppstår och dels kan anslutningar av tätskikt och rörledningar till brunnen vara otäta. Problemställningen liknar i övrigt det som beskrivs i stycket "bakom tätskikt".

Behov: Att snabbt få en signal vid läckage vid en brunn. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

Trycksatta vattenrör

Läckage hos trycksatta vattenrör kan få stora konsekvenser speciellt om skadan inte genast upptäcks och åtgärdas. Vattenrören monteras ibland dolt inne i konstruktioner, exempelvis under uppreglade golv, för att inte störa brukarna. I dessa fall kan även en mycket liten läcka under lång tid få stora konsekvenser. Vattenskadeundersökningen VASKA (2002) går i detalj in på relationen mellan olika orsaker vid vattenskador i byggnader.

Behov: Att i ett tidigt skede få en signal vid ett läckage i de trycksatta vattensystemen. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

Vattenanslutna apparater

Apparater som anslutits till det trycksatta systemet är en stor orsak till vattenskador. Enligt VASKA (2002) utgör läckage från dessa apparater omkring 13 % av undersökningens totala skadeantal. Ett läckage kan få stora konsekvenser om vattnet får möjlighet att under en längre tid rinna in i byggnadskonstruktionen.

Behov: Att snabbt få en signal vid läckage från en vattensluten apparat. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

Rörschakt

Ett trycksatt vattenrör i ett undanskymt rörschakt kan läcka under lång tid innan det upptäcks. Materialen i schaktets golv och väggar kan även suga upp och transportera fukten till angränsande rum där ytmaterial och annat kan ta skada.

Behov: Att snabbt få en signal vid läckage i ett rörschakt. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

Under uppreglade trägolv

Ett vattenläckage under ett uppreglat golv kan pågå under lång tid och få stora konsekvenser eftersom det är svårt att upptäcka. Se kapitel 2.2.1, avsnittet om ”tveksamma konstruktioner”.

Behov: Att snabbt få en signal vid läckage under ett uppreglat golv. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

Oväntad slagregnsintensitet

Ett oväntat starkt regn kan få förödande konsekvenser för en byggnads fuktbalans. Bland annat kan långvarigt slagregn ”fylla upp” buffringsförmågan hos tegel- och putsade fasader så att vattnet rinner igenom och tränger långt in i konstruktionen. Även vid upprepade slagregn med normal intensitet men utan mellanliggande torkperioder kan fasadmaterialen fyllas successivt.

Behov: Att få en uppfattning om hur ”våt” byggnaden är och ange risken för att skadliga mängder fukt tränger in i konstruktionen. System uppbyggt av driftsäkra komponenter med god tillförlitlighet.

Krav: Mätningen skall ha hög driftsäkerhet till ett skäligt pris.

3. Kravspecifikation

I det här kapitlet beskrivs bland annat tre mätsituationer med olika krav som har identifierats som prioriterade mätsituationer för trådlösa mätsystem. Dessa är svåråtkomliga mätpunkter, svåröverskådliga mätningar samt precisa mätningar.

3.1 Prioriterade mätområden

Många av de olika parterna som är inblandade i byggprocessen kan ha sina egna syften med att vilja mäta fukt. För att en mätsituation skall bedömas vara prioriterad måste det finnas ett starkt incitament av något slag att utföra mätningen. Ekonomi kan ofta vara ett starkt incitament.

Entreprenören kan vilja ha ett verktyg för att försäkra sig om att han gör rätt. Mätverktyget kan utgöra en del i entreprenörens egenkontroll angående fukt. Helst skall mätverktyget kunna utföra en verifierande fuktmätning i samband med överlämnandet av den färdiga byggnaden. Slutdokumentation mot kund.

Beställaren kan vilja ha ett verktyg som kontrollerar att allt blev rätt vid bygget av huset. Ibland skall mätverktyget dessutom under lång tid kunna vakta och varna om byggnaden inte fungerar på avsett vis fukttekniskt.

3.2 Svåråtkomliga mätpunkter

Svåråtkomliga mätpunkter som ofta är belägna inuti konstruktioner. Denna mätsituation kräver en sensor som är inbyggbar i olika typer av konstruktioner och kan leverera mätvärden under en längre tidsperiod utan underhåll. Det är ofta svårt och i vissa fall omöjligt att komma åt sensorerna om de krånglar. Avläsningen kan ske med en portabel avläsningsenhet som placeras i närheten av sensorn vid mättillfället, eller via en stationär mätvärdesinsamlingspunkt. Exempel på denna mätsituation kan vara fuktmätning under en syll, inuti en utfackningsvägg eller i ett betonggolvs. Sensorn bör vara liten och till vissa tillämpningar helst platt.

Mätområde: Ett stort mätområde är önskvärt. Givaren bör kunna tåla att bli utsatt för fritt vatten, och gärna indikera att så är fallet. Kontinuerligt mätintervall från nästintill 100 % RF ner till under 50 % RF är önskvärt, gärna lägre. Temperaturen kan röra sig mellan kanske -20°C utomhus till +50°C i ett extremfall på en solbelyst plats.

Mätnoggrannhet: En hög noggrannhet är önskvärd. Dock är det ofta viktigare att med stor säkerhet kunna följa förlopp och förändringar. Absolutnivån kan mätas med en separat ”precis mätning”. En standardiserad total mätosäkerhet omkring ± 5 % RF (TF=2) för en utförd mätning av absolutnivån, inklusive instrument, kalibrering och handhavande, kan vara tillräcklig i många tillämpningar om förändringar mäts korrekt.

Räckvidd för trådlös överföring: Erforderlig räckvidd är åtminstone genom materialet, kanske någon decimeter betong som mest. Helst skall systemets totala räckvidd möjliggöra en central mätvärdesinsamling vid en Internetansluten pc eller liknande.

Lagring av mätdata: Syftet är ofta att övervaka att fuktillståndet inte överskrider ett gränsvärde eller att följa ett förlopp. Gärna central lagring av data och lättöverskådlig presentation om mätningar görs i flera punkter.

Beständighet för sensorer: Dessa sensorer placeras svåråtkomligt, ofta utan möjlighet att komma åt dem efter de byggts in. Detta kan i många tillämpningar ställa höga krav på sensorernas livslängd och beständighet

Kostnader: En helhetslösning för ett byggprojekt kan få kosta tiotusentals kronor för stora projekt, dock bör kostnaden för varje mätpunkt begränsas till någon hundralapp. Små byggprojekt kan däremot inte bära lika höga kostnader utan kräver billigare lösningar för några tusenlappar.

3.3 Svåröverskådliga mätningar

Svåröverskådliga mätningar kan vara när (uttorknings)klimatet mäts över tiden på många olika ställen i en byggnad. Denna mätsituation kräver en sensor med tillräcklig räckvidd för att kunna kommunicera med en mätvärdesinsamlingspunkt som placerats centralt på byggarbetsplatsen. Mätvärdena kan sedan sammanställas och presenteras centralt, exempelvis på en Internetansluten PC. Sensorn kan ofta lätt kommas åt för service och byte av batterier. Exempel på denna mätsituation kan vara fuktmätningar av uttorkningsklimatet i en byggnad, klimatet i ett väderskydd eller i en kryprumsgrund / kallvind.

Mätområde: Ett stort mätområde är önskvärt. Kontinuerligt mätintervall från nästintill 100 % RF ner till 10 % RF är önskvärt. Temperaturen kan röra sig mellan kanske -20°C utomhus till +50°C i ett extremfall på en solbelyst plats.

Mätnoggrannhet: En hög noggrannhet är önskvärd. Även här kan det ibland vara viktigare att med stor säkerhet kunna följa förlopp och förändringar än att avläsa en korrekt absolutnivå. En standardiserad total mätosäkerhet omkring ± 3 % RF (TF=2) för en utförd mätning inklusive instrument, kalibrering och handhavande är ofta tillräcklig.

Räckvidd för trådlös överföring: Denna tillämpning kräver att systemets totala räckvidd bör kunna täcka in en byggarbetsplats på 30 - 100 meter. Helst bör det även klara enstaka betongväggar.

Lagring av mätdata: Systemet bör ha en central mätvärdesinsamling vid en Internetansluten pc eller liknande. Gärna central lagring av data och lättöverskådlig presentation om mätningar görs i flera punkter.

Beständighet för sensorer: Dessa sensorer kan placeras svåråtkomligt, ibland utan möjlighet att komma åt dem efter de byggts in. Detta kan ställa höga krav på en rimligt lång livslängd och beständighet hos sensorerna.

Kostnader: En helhetslösning för ett byggprojekt kan få kosta tiotusentals kronor för stora projekt, dock bör kostnaden för varje mätpunkt begränsas till någon hundralapp. Små byggprojekt kan däremot inte bära lika höga kostnader utan kräver billigare lösningar för några tusenlappar.

3.4 Precisa mätningar

Precisa mätningar som skall kunna verifiera trendmätningar. Ibland kan mätresultat med hög noggrannhet behövas för att verifiera ett viktigt mätvärde. Dessa sensorer kan behöva utformas för varje enskild mätsituation för att ge minsta möjliga mätosäkerhet. Exempel kan vara den mätning som utförs innan matläggning vid uttorkning av betongbjälklag. Där är det viktigt att med största möjliga noggrannhet mäta RF, temp samt givarens djup i konstruktionen.

Mätområde: Ett stort mätområde är önskvärt. Kontinuerligt mätintervall från omkring 98 % RF ner till 20 % RF är önskvärt för olika applikationer. Temperaturen kan röra sig i intervallet från 0°C upp till drygt +40°C i uppvärmda konstruktionsdelar.

Mätnoggrannhet: Högsta möjliga mätnoggrannhet önskas. Gärna en standardiserad total mätosäkerhet som är bättre än ± 1 % RF (TF=2) för en utförd mätning inklusive instrument, kalibrering och handhavande.

Räckvidd för trådlös överföring: Erforderlig räckvidd är åtminstone genom materialet, kanske någon decimeter betong som mest. Vid dessa precisa mätningar kan man acceptera att gå ut med mottagaren i objektet och manuellt samla in mätdata.

Lagring av mätdata: Syftet är att få en beständig dokumentation som kan utgöra verifieringen vid överlämnandet av byggobjektet till beställaren. Det vill säga slutdokumentation mot kund.

Beständighet för sensorer: Eftersom detta kan vara enstaka mätningar vid utvalda tidpunkter är kravet på beständighet begränsat. Dock måste givarna kunna byggas in i konstruktionen vilket kan innebära att de spikas in i en vägg eller gjuts in i betong.

Kostnader: Hela mätningen inklusive dokumentation kan med dagens nivå exempelvis få kosta några tusen kr för ett stort betonggolvs.

4. Tekniker för trådlös fuktmätning.

Innehållet i detta kapitel kommer att fokusera på olika befintliga typer av sensorer och nätverk som kan användas i system för trådlös fuktmätning. En del kommande metoder som är intressanta för trådlös fuktmätning har också tagits med.

Med trådlösa sensorer menas att sensorns signal kan läsas ut på avstånd utan kabelförbindelse mellan sensorn och utläsningsenhet. Kommunikationen kan ske t.ex. med hjälp av en radiolänk, ett område som är under snabb utveckling idag. Med trådlösa sensorer ges möjligheter att bygga in sensorer på helt nya platser och att sensorerna kontinuerligt kan leverera mätdata under konstruktionens hela livslängd. Trådlösa nätverk kan byggas antingen kring någon av byggbranschens beprövade RF-givare eller kring en ny fuktsensor.

Nedan följer en presentation av flera olika nya tekniker och sensorer som är intressanta för trådlös fuktmätning inom byggindustrin.

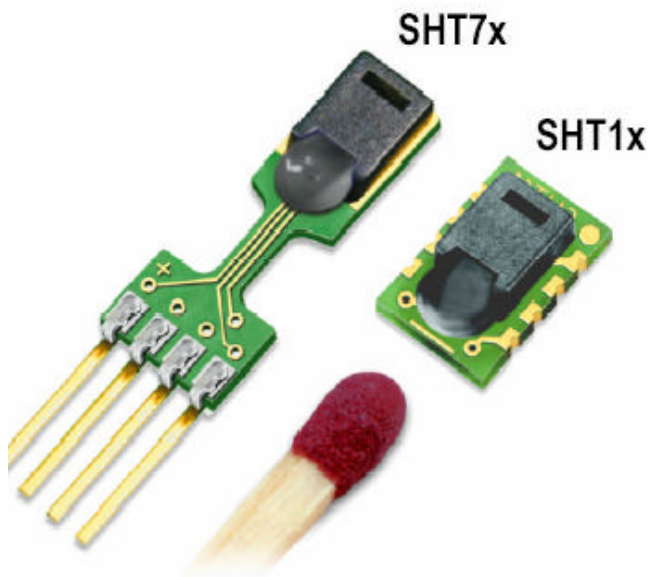
4.1 Fuktsensorer baserade på elektrisk impedans

Fuktsensorer baserade på elektrisk impedans (resistans, kapacitans eller kombinationer av båda) är etablerade tekniker, men det pågår fortfarande omfattande utveckling av dessa sensortyper. Sensorerna innehåller ett hygroskopiskt material vars elektriska egenskaper ändras när det absorberar fukt. Fördelen med dessa sensorer är att de är små, billiga och ofta är enkla att använda. Nackdelarna är hystereseffekter, drift, känslighet för kontamination och (ofta) känslighet för kondensation. Mycket av dagens utveckling syftar till att minska dessa nackdelar.

Några företag som säljer intressanta resistiva och kapacitiva fuktsensorer följer nedan:

4.1.1 Sensirion

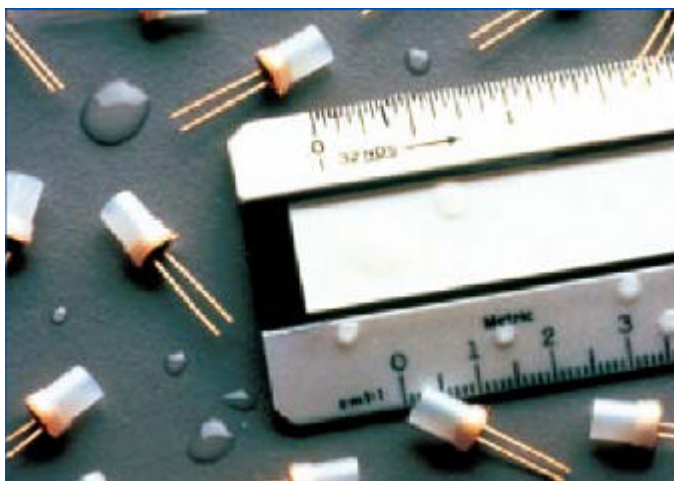
www.sensirion.com, säljer fyra varianter av en liten fukt- och temperatursensor (SHT11, SHT15, SHT71 och SHT75). På ett enda chip har man integrerat fukt- och temperatursensorer tillsammans med kalibreringsdata, utläsningselektronik och kommunikationselektronik. Sensorn är förberedd för att kommunicera med en mikrokontroller och den är därför lätt att integrera tillsammans med en trådlös kommunikationsenhet. Sensorn fungerar i hela intervallet mellan 0 till 100 % RH. Noggrannheten varierar mellan de olika modellerna och ligger på +/-1.8 % RH till +/-3.5 % inom intervallet 10-90 % RH. Priset ligger mellan 100-200 kr beroende på modell och antal. För att skydda sensorerna mot en dammig miljö finns även ett membran, SF1, som kostar 20 kr styck.



Figur 11. Fuktsensorer från Sensirion

4.1.2 GE Panametrics

www.gepower.com/prod_serv/products/rel_humidity/en/index.htm, säljer fuktsensorn MiniCap 2 som är en kapacitiv fuktgivare. Sensorn klarar kondensation, mäter i hela intervallet 0-100 % RH, har enligt datablad hysteresfel på +/- 1 % RH inom intervallet 10-90 % RH och drift på +/- 2 % RH (24 månader). Sensorn omnämns som billig och bra av flera källor. Själva sensorn kostar 80 kr för 1000-5000 st. För att använda sensorn krävs en enkel drivkrets för att läsa ut kapacitansen. Ett problem med denna typ av sensorer är att det är en ganska stor spridning mellan individerna så att drivkretsen bör trimmas mot varje sensor.



Figur 12. Fuktsensorn MiniCap 2 från GE Panametrics

4.1.3 Humirel

www.humirel.com, säljer både kapacitiva fuktsensorer (HS1100/01) och integrerade fukt- och temperatursensorer (HTS2010). Fuktsensorerna fungerar i hela intervallet 0-100 % RH noggrannhet på +/- 2 % RH i intervallet 10-90 % RH. Priset för HS1100/01 ligger på ca 60 kr och för HTS2010 på ca 90 kr. Till detta kommer drivelektronik och man säljer flera varianter, t.ex. HTM1505 som kostar ca 130 kr (inklusive HS1100 och extern temperaturgivare).

4.1.4 GE Infrastructure Sensing

GE Infrastructure Sensing (GE Panametrics är en del av detta bolag se kapitel 4.1.2), säljer både resistiva och kapacitiva givare. För information om dessa, se

www.gesensing.com/products/resources/brochures/RHSensorsOverview1.pdf.

4.1.5 Honeywell

Honeywell säljer kapacitiva fuktsensorer med integrerad utläsningselektronik, se <http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/>.

Sensorernas prestanda är ungefär som för ovanstående sensorer. Priset för en av deras fuktsensorer, HIH3610, ligger runt 200 kr. De säljer även en integrerad fukt- och temperatursensor, HIH3602 som kostar ca 700 kr.

4.1.6 Sencera

www.sensorelement.com/indexe.htm, säljer mycket billiga fuktsensorer. Deras resistiva fuktsensor H25K5A, som arbetar i intervallet 20-90 % RH med +/- 5 % noggrannhet, kostar endast ca 15 kr. De säljer även kapacitiva givare med bättre prestanda, t. ex. sensorn 808 som arbetar i intervallet 1-99 % RH och med ett hysteresfel på mindre än +/- 2 % RH inom intervallet 10-90 % RH. Sensorn 808 kostar ca 90 kr. Sensorerna behöver en enkel drivelektronik för att läsas ut.

4.1.7 Smartec

www.smartec.nl, säljer en kapacitiv fuktgivare SMTHS10 för ca 80 kr. Sensorn klarar kondensation och arbetar i hela intervallet 0-100 % RH. Stabilitet +/- 3 % RH (12 månader).

4.1.8 Thermometrics Global Bus-Edison

www.thermometrics.com, säljer resistiva fuktsensorer, HS12 (20 till 90 % RH) och HS15 (20 till 100 % RH), för ca 30 kr och en passande utläsningskrets för ca 130 kr.

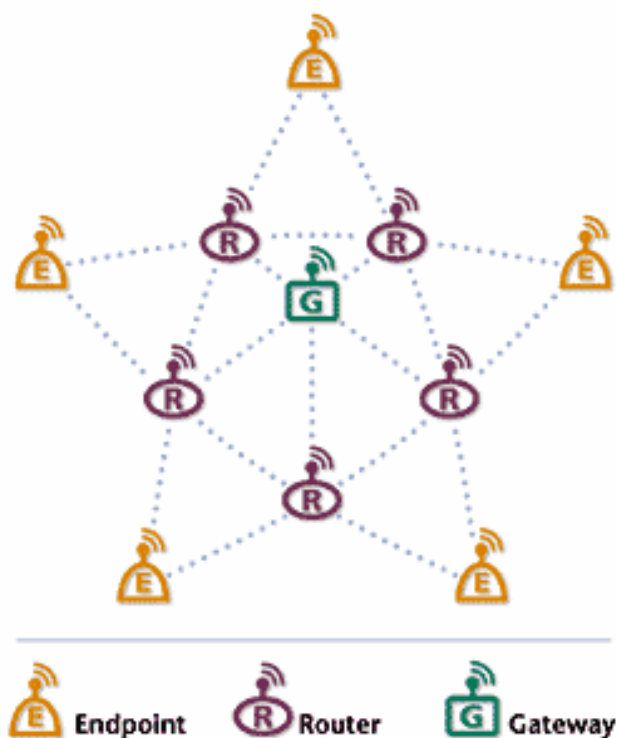
4.1.9 Ytterligare aktörer

Även E+E Elektronik, www.epluse.net, säljer kapacitiva fuktsensorer och Ohmic Instruments, <http://www.cweb5.com/ohmic/index.php>, som säljer flera olika typer av fuktsensorer.

Det kan naturligtvis finnas ytterligare ett antal aktörer som ej hittats i förarbetet till denna sammanställning.

4.2 Olika typer av nätverk

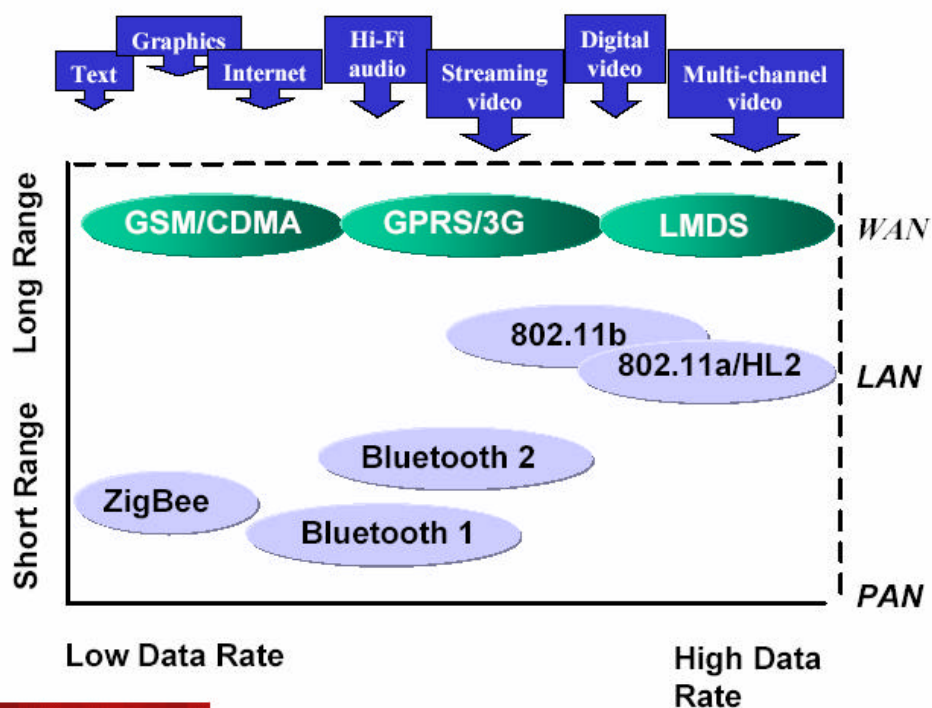
Ett typiskt sensornätverk byggs upp av tre delar, endpoints (där sensorn monteras ihop med en sändarkrets och ett batteri), routers (återsändare), och gateway (navet i nätet). Navet i nätet, gateway:en, kan kopplas till en dator, Ethernet eller GSM. För sensornätverk är kraven på överföringshastighet ofta låga, men det är viktigt att tekniken är strömsnål så att batteritiden blir lång. I en del tillämpningar finns det bara två eller ett fåtal enheter som kommunicerar, medan nätverket i andra fall kan bestå av hundratals noder.



Figur 13. Schematisk bild över ett nätverk enligt Millennial Nets, kapitel 4.3.1.

Det finns ett flertal frekvensband som är tillgängliga för olika kommunikationslösningar. De flesta trådlösa nätverken använder något av de fria ISM-banden (Industrial, Scientific and Medical). Det finns inte någon enskild kommunikationsteknik som är lämplig för alla tänkbara nätverk, t.ex.

ligger fokus på hög överföringshastighet vid trådlös överföring av data mellan en laptop och en accesspunkt i ett lokalt nätverk medan sensornätverk ofta har mycket låga krav på överföringshastighet.



Figur 14. Grafisk översikt över flera vanligt förekommande standardiserade kommunikationstekniker

	ZigBee 802.15.4	Bluetooth 802.15.1	WiFi 802.11b	GPRS/GSM
Huvudsaklig användning	Övervakning och kontroll	Kabelersättning	Internet, video, email	Wide area network, röst, data
Batteritid (dagar)	100-1000+	1-7	0.1-5	1-7
Antal noder per nätverk	255	8	30	1000
Bandbredd (kbps)	250	1000	11000+	64-128
Räckvidd (m)	30	10	1-100	1000+
Fördelar	Pålitligt, låg effektförbr. låg kostnad	Låg kostnad, enkelt att använda	Snabbt, flexibelt	Lång räckvidd

Figur 15. Summering av viktiga egenskaper hos flera vanligt förekommande standardiserade kommunikationstekniker

Nedan följer en genomgång ett par vanliga kommunikationstekniker och en bedömning av deras lämplighet för denna studies tillämpningar.

4.2.1 802.11 och WiFi

WiFi är väletablerat och utgör standarden för LAN-utrustning (Local Area Network) för trådlös uppkoppling mot internet. WiFi är en standard som bygger på 802.11-protokollet. Datahastigheten kan vara mycket hög (> 10 Mb/s) och räckvidden är ca 30 m. Trots att WiFi är mycket populärt för datakommunikation så är det inte någon lämplig teknik för trådlösa sensornätverk. WiFi har utvecklats med fokus på hög överföringshastighet vilket leder till att tekniken drar mycket ström. Batteritiden blir därmed bara några dagar om man utrustar en sensor med denna sändare.

4.2.2 Bluetooth

Bluetooth är i princip utvecklat för att ersätta kabelförbindelser mellan en basenhet och dess periferienheter, där periferienheten är tänkt att laddas i en laddstation med täta intervall. Typiska tillämpningar är bärbara telefoner eller kommunikation mellan en PC och dess periferienheter (mus, tangentbord, mm). Bluetooth kommunicerar med något lägre hastigheter än WiFi, men är fortfarande onödigt snabbt för ett sensornätverk. Räckvidden är ca 10 meter (det finns även en 100 m-standard) och tekniken klarar upp till 8 noder i ett nätverk. Det går att bygga små sensornätverk med hjälp av Bluetooth, men tekniken är i grund och botten inte utvecklad för denna tillämpning.

4.2.3. 802.15.4 och ZigBee

Inom många sensortillämpningar krävs inte särskilt höga datahastigheter. Däremot är det en fördel om systemen är strömsnåla så att batterier håller länge och att kommunikationen fungerar även i en störande miljö. Med utgångspunkt från dessa tillämpningar har IEEE 802.15.4 tagits fram.

I en ansträngning för att harmonisera systemen som följer IEEE-standarderna 802.15.4 har den så kallade ZigBee-alliansen bildats, www.zigbee.org. Bakom ZigBee står över 100 företag, bland dem flera branschjättar som Philips, Motorola och Samsung. Zigbee protokollet bygger på IEEE-standarderna 802.15.4 med vissa tillägg för att öka bland annat säkerheten. ZigBee-standarderna har inte riktigt satt sig än, men det finns redan produkter på marknaden som är förberedda att uppfylla kraven.

Den låga datahastigheten och ett accessprotokoll som gör att enheterna kan tillbringa större delen av tiden sovandes gör att effektförbrukningen blir låg. En enhet kan leva i flera år utan batteribyten, livslängden är beroende på batteriets kapacitet och hur ofta med vill överföra data.

Enheter utrustade med Zigbee kan koppla upp sig i par, men även bilda stjärnformade nät, klusternät eller rutnät. Räckvidden är upp till 100 m.

Radion använder frekvensbandet på 2,4 GHz, som är tillgängligt i hela världen. Hela protokollet ryms på 32 kbyte och datahastigheten för rådata ligger mellan 20 kbit/s och 250 kbit/s. I USA finns också ett 915 MHz-band som dock bara ger 40 kbit/s. I Europa finns ett tillåtet band på 868 MHz som ger 20 kbit/s. Fördelen med att arbeta vid lägre frekvens är att räckvidden blir längre.

ZigBee är som sagt en ny standard och det är först i år det har börjat komma ut produkter på marknaden. Tyco har utvecklat temperatursensorer för oljeraffinaderier som länkas samman via Zigbee. Fler sensorer ger en bättre möjlighet att styra processen. Philips har tagit fram en produkt för att slå av och på belysningen i offentliga byggnader och Sensitech har tagit fram en temperatursensor som följer med till exempel matvaror. När dessa ska lastas av i affären kan mottagaren direkt se om varorna förvarats för varmt under transporten utan att först lasta av dem. En komplett lösning baserad på ZigBee kostar idag 10-20 dollar. Målpriset är uppsatt till någon enstaka dollar, men det förutsätter att marknadsvolymer blir stora.

www.ember.com och www.chipcon.com har samutvecklat en en-chips radiotransceiver, EM2420 respektive CC2420, som uppfyller 802.15.4 och är förberedd för ZigBee. Dessa och liknande kretsar utgör basen för många system som nyligen kommit ut på marknaden.

4.2.5 System med egna protokoll

De flesta trådlösa produkterna som tagits fram för industriella tillämpningar följer inte någon standard för kommunikationen. De använder de fria ISM-banderna, men de har egna protokoll och funktioner. Detta gäller främst företag som funnits länge och som säljer en nätverkslösning som är framtagen innan de nya standarderna togs fram. Troligtvis kommer många av dessa äldre system att uppdateras så att de blir kompatibla med de nya standarderna så snart de blivit etablerade.

En potentiell risk med att bygga en lösning på en icke-standard plattform är att man blir beroende av en enskild leverantör. Om företagen upphör eller byter sortiment kan man stå utan en nätverkslösning. Finns det bra system som följer en standard är det självklart en fördel, men kommunikationsenheterna kan man troligtvis byta ut utan att den normala användaren av ett fuktensorsystem påverkas. Därför borde inte skadan vara så stor om man tvingas byta ut kommunikationslösning, bara sensorerna och datamottagaren kan hantera den nya lösningen.

4.3 Tillverkare av attraktiva nätverkslösningar

Det finns många företag som säljer trådlösa nätverkslösningar. Vi har nedan valt ut ett par intressanta företag som tillhandahåller lösningar som är små, strömsnåla, billiga (eller kommer att bli billiga i framtiden) och att det finns utvärderingskit så att vi enkelt kan komma igång och utvärdera deras teknik.

4.3.1 Millennial Net

www.millennial.net, har funnits sedan 2000 och har därmed kommit relativt långt med sin teknik. Eftersom de kom igång före 802.15.4 och ZigBee tog form har de utvecklat ett eget protokoll. De har dock kommit med nya produkter som är kompatibla med 802.15.4 och är färdiga för ZigBee (iB-5324). De har utvecklat hårdvara och mjukvara för trådlösa och strömsnåla sensornätverk. Deras främsta produkt heter i-Bean, där själva sensornoden är mycket liten, bara 23 x 18 x 8 mm. Sensornoden är batterimatad och har en livslängd på flera år. Nätverket byggs upp av tre element, endpoints (där sensor monteras), routers (återsändare), och gateway (navet i nätet). Navet i nätet, gateway:en, kan kopplas till en dator eller Ethernet eller GSM. Räckvidden mellan endpoints och routers är ca 20 m, mellan routers och gateway är räckvidden ca 30 m. Nätet kan byggas mycket stort och hantera många mätpunkter. Millennial Net säljer ett utvärderingskit som innehåller allt för att snabbt komma igång att testa deras trådlösa nätverk. I paketet medföljer 5 i-Bean endpoints (iB-5224), 3 routers, 1 gateway samt mjukvara för att styra och samla in data. Priset för utvecklingskitet är 4500\$.



i-Bean 2.4 GHz Evaluation Kit

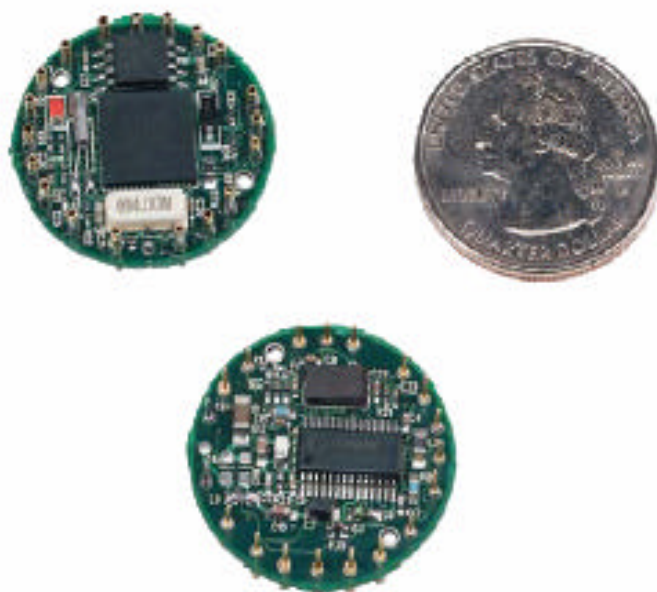
Figur 16. Ett av Millennial Nets utvärderingskit.

4.3.2 Accenture Technology Labs

www.accenture.com, har gjort en studie på trådlös övervakning av fukt, temperatur och vindstyrka på en vingård i norra Kalifornien, se <http://www.accenture.com/xdoc/en/services/technology/case/pickberry.pdf>. Man byggde systemet på en plattform från Millennial Net. Man tog även fram ett datasystem för att effektivt kunna hantera och presentera den insamlade datan. Det resulterande systemet kallas Sensor Telemetry Accelerator och är tänkt att fungera som en start-kit för andra applikationer.

4.3.3 Crossbow

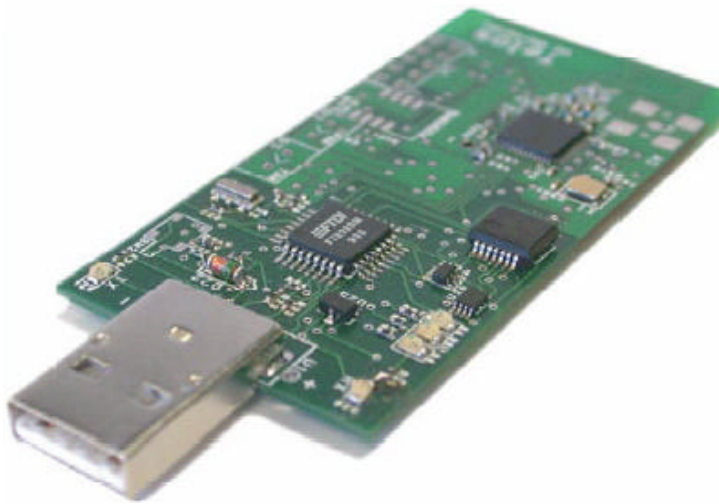
www.xbow.com, är ett relativt etablerat företag för trådlösa nätverk och sensorer. De säljer flera varianter av sina sensornätverk, det minsta är MICA2DOT där radiodelen som skall sitta tillsammans med sensorn är stor som en quarter dollar. En sådan enhet kostar i små volymer 115\$, ett pris som rimligtvis borde sjunka om man beställer stora volymer. Det finns även ett par test- och utvecklingskit framtagna så att man kan komma igång snabbt.



Figur 17. Crossbow's MICA2DOT är en liten radiomodul som är färdig att integrera med en eller flera sensorer

4.3.4 Moteiv

www.moteiv.com, säljer Telos som är en komplett sensorplattform baserad på 802.15.4 med möjlighet att integrera fukt-, temperatur- och ljussensorer. Systemet är förberett för att arbeta med Sensirions, www.sensirion.com, fuktsensorer SHT11/15. Systemet har 50 meters räckvidd inomhus och 125 meter utomhus. Plattformen är 6,6 cm lång, 3,3 cm bred och ca 1 cm hög.



Figur 18. Telos från Moteiv är en komplett sensorplattform baserad på 802.15.4.

4.3.5 Helicomm

www.helicomm.com, har ett system, IP-Link 1000, som är en ZigBee-förberedd radiomodul med ingångar för sensorsignaler. För att testa deras koncept finns ett test- och utvecklingskit , Helicomm devkit 1000.



Figur 19. Helicomms IP-Link 1000 är en ZigBee-baserad radiomodul med ingångar för sensorsignaler.

4.3.5 Ember

Ember säljer ett ZigBee-redo utvecklingskit EM2420, men det kostar idag nära 14000\$!

4.3.6 Freescale och Motorola

Motorola-ägda Freescale, www.freescale.com, säljer ett ZigBee-redo start-kit, MC13191/92, för ca 200\$. Motorola planerar att ta fram sensorplattformar, referenslösningar och mjukvarustöd för ZigBee.

4.3.7 Zensys

<http://www.zen-sys.com/>, har tagit fram en egen nätverkslösning, Z-wave, för trådlös övervakning och styrning av lampor, larm, värme med mera i hemmiljö. Deras fokus har legat på lågt pris per nod, men kretsarna skall även vara strömsnåla. Det är svårt att utifrån informationen på nätet bedöma om detta är en lämplig teknik för tillämpningen i denna studie.

4.3.8 Sensicast

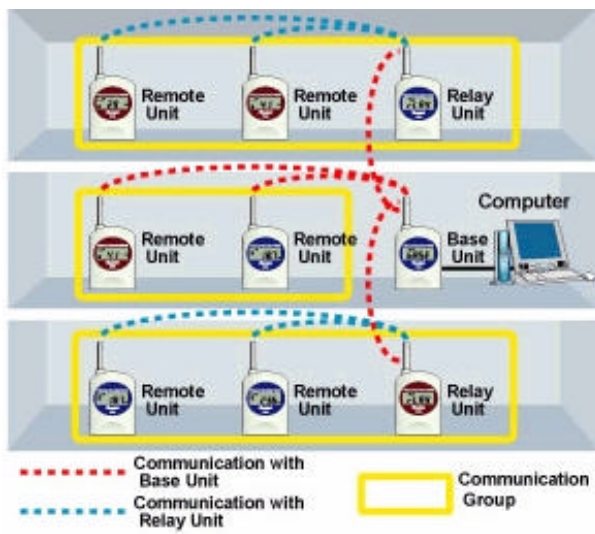
www.sensicast.com, har utvecklat ett komplett trådlöst sensornätverk och anpassat detta för bl.a. fukt- och temperaturövervakning inom byggnader. Varje sensornod kostar \$419 (EMS100) och ett komplett startpaket med bl.a. mjukvara och 4 sensornoder kostar \$4999 (PKG-SEMS-001). Man säljer även moduler som kan kopplas till valfria sensorer.



Figur 20. Sensicast's sensornod EMS100, med integrerade fukt- och temperatursensorer samt radio.

4.3.9 T&D

www.tandd.co.jp/english/, säljer RTR-71/72 som är ett trådlöst sensornätverk. Varje sensorenhet har en display, men de kan även skicka data vidare till en mottagande enhet. Räckvidden är ca 400 m mellan enheter utomhus, kortare inomhus. Sensorerna mäter temperatur och relativ luftfukt ($\pm 5\%$ RH mellan 10 och 95 %). Batteritiden är ca 3 månader och man kan länka ihop upp till 32×126 enheter i ett nätverk.



Figur 21. T&D's trådlösa fukt- och temperatur sensornätverk

4.4 Sensorlösa system

I detta avsnitt behandlas några tekniker som mäter fukten i ett material beröringsfritt och utan någon sensor.

4.4.1 Mikrovågor

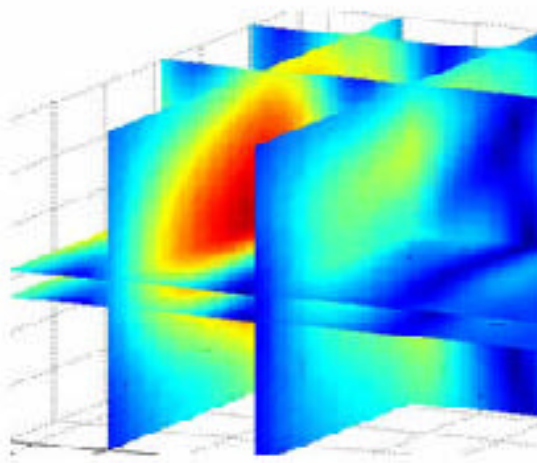
Mikrovågor kan tränga in i alla icke-ledande material. Genom att mäta hur mikrovågor påverkas i t.ex. betong kan man få reda på olika egenskaper om betongen, bl.a. fukthalt och densitet. Vatten har en relativ permitivitet vid mikrovågsfrekvenser som är en tiopotens högre än t.ex. betong och trä. Det är denna egenskap som gör att fukt är speciellt lämpligt att detektera med mikrovågsteknik.

Det finns flera sätt att detektera fukt med mikrovågor:

- Reflektionsmätning
- Transmissionsmätning
- Resonansmätning
- Tidsdomän reflektometri (TDR)

Det finns många företag som tillverkar mikrovågsmätinstrument för fuktmätning i jord, säd, processindustrin m.m.:

- NIST, www.nist.gov, har utfört inledande test med ett mikrovågsinstrument som Intelligent Automation Inc. utvecklat. Man har utfört mätningar på testväggar byggda av spånskivor, gips och isolering. Instrumentet kan lokalisera fuktiga områden med centimeter-upplösning. Vidare studier pågår för att utvärdera effekter av metalliska material i väggar, som spik, kablar och armering. För mer info, se <http://www2.bfrl.nist.gov/projects/projcontain.asp?cc=8634521000>



Figur 22. Tredimensionell bild av en testvägg uppmätt med NISTs mikrovågsinstrument. Det runda mörka (röda) området på den vänstra ”skivan” indikerar ett högre fukttinnehåll.

- TEWS Elektronik (www.tews-elektronik.com) har tagit fram ett handhållet instrument, MW 1000, för fuktmätning i bl.a byggindustrin.
- IMKO (www.imko.de) har flera instrument för mätning av fukt i jord.
- HF sensor (www.hf-sensor.de) har flera handhållna mätinstrument. Ett av deras instrument, MOIST-P, har ett inträngningsdjup på 30 cm och noggrannhet bättre än 2 %.



Figur 23. Handhållet mikrovågsinstrument för fuktmätning från HF sensor.

4.4.2 Kapacitiva och resistiva indikatorer

Det finns flera varianter av handhållna fuktindikatorer som används främst för att söka efter torrare eller blötare områden på en yta. Instrumenten har antingen spik för att mäta resistansen mellan två punkter eller så mäter de kapacitansen mellan två plattor som sitter inuti enheten. Instrumenten mäter av den volym som är kring probarna och tränger in ett par centimeter in i mätobjektet. Detta ger nackdelen att ytskiktets egenskaper påverkar mätningen.

Det finns många tillverkare av dessa instrument, ett exempel är Protimeter, www.protimeter.com, säljer flera typer av handhållna instrument för att trådlöst mäta fukt genom väggar och golv.



Figur 24. Protimeter säljer flera typer av handhållna instrument för att trådlöst mäta fukt genom väggar och golv

Ett instrument som egentligen inte är trådlöst, men som intressant i detta sammanhang är ECHO som tillverkas av Decagon Devices Inc., www.decagon.com/echo. ECHO används för att mäta fukt i jord och andra porösa material. Sensorn, som är förbunden med en utläsningsenhet via en kabel, sticks ner i mediet som man vill mäta i och gör en kapacitiv mätning av fukten som omger den.



Figur 25. Fuktsensor från Decagon

4.5 Sensorer med inbyggd kommunikation

I detta avsnitt behandlas några tekniker där sensorn i sig själv sköter kommunikationen med omvärlden. Sensorerna är passiva (saknar egen energikälla) och aktiveras av att en utläsningsenhet (ofta handhållen) placeras i närheten av sensorn.

4.5.1 Magnetoelastiska sensorer

Imego har tillsammans med SCA utvecklat ett system för att trådlöst mäta fukt. Systemet består av en handhållen kontrollenhet och en sensor placerad vid mätpunkten. Sensorn består av en magnetoelastisk film som är belagd med ett fuktabsorberande material. Handenheten skickar ut en magnetisk puls som får filmen att börja svänga. Frekvensen som filmen svänger med ger information om fukthalten. Avläsningsavståndet är idag ungefär 0,5 meter och man kan mäta fukthalten i flera nivåer mellan torrt och blött. Själva sensorn är billig, priset i stor volym beräknas ligga runt några kronor. Sensorn kan göras mycket tunn, ner mot 1 mm, vilket gör det möjligt att placera den i smala springor.



Figur 26. Imegos system för trådlös mätning av fukt med små billiga magnetoelastiska sensorer.

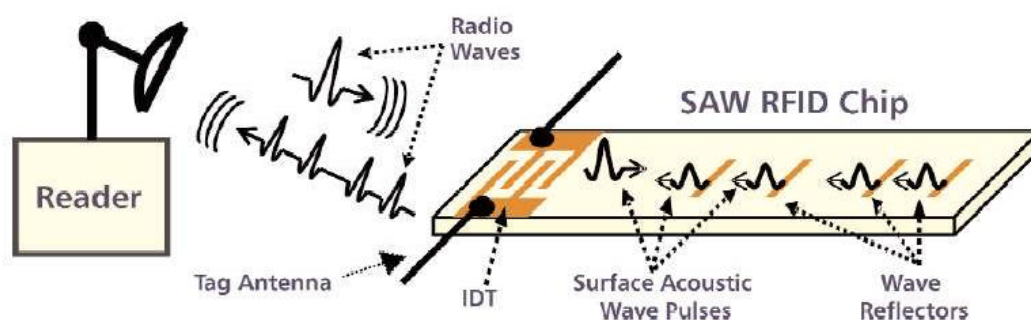
4.5.2 SAW

En SAW-sensor (Surface Acoustic Wave) är uppbyggd av enkristallint piezoelektriskt material t.ex. kvarts (SiO_2) eller zinkoxid (ZnO). Kristallen beläggs med ett ledningsmönster i form av elektroder. När en elektromagnetisk puls skickas mot den passiva SAW-sensorn övergår den elektromagnetiska energin till akustisk energi i form av en ytvåg i kristallen, därav namnet SAW-sensor. Eftersom den akustiska vågen är bunden till ytan kommer förändringar av ytan ge upphov till förändringar av vågens egenskaper. Genom att belägga SAW-sensorn med ett tunt fuktabsorberande skikt kommer ytvågens hastighet ändras beroende på mängden fukt som absorberas. Genom att mäta tiden det tar för en puls att röra sig längs SAW-

sensorn fås ett mått på fuktigheten. Vaisala (www.vaisala.com) säljer ett sensorsystem för mätning av daggpunkten baserat på denna princip.

SAW-sensorer används idag i flera trådlösa sensorapplikationer. Baumer Ident GmbH (www.baumerident.com) och RF SAW Inc (www.rfsaw.com) är två företag som säljer RFID-system baserade på SAW-sensorer. Ett metallmönster utformas i form av reflektorer med olika inbördes avstånd. Genom att skicka på en puls mot sensorn och sedan mäta tiden mellan de reflekterade pulserna erhålles en unik signal för varje sensor. Fuktabsorberande RFID SAW-sensorer kan utnyttjas för att mäta fukt i flera olika punkter i rummet samtidigt. Räckvidden för en trådlös sändar/mottagarenhet är 3-20 meter.

En annan tillämpning för SAW-sensorer är som filter i mobiltelefoner m.m.



Figur 27. Principen för en RFID SAW-sensor

4.5.3 Resonsanskrets.

Vid Helsinki University of Technology har Voutilainen *et al* (2002) utvecklat en fuktsensor som består av en antenn som är kapacitivt kopplad till en fuktabsorberande massa. Systemet bildar en s.k. LCR-resonansfrekvens och resonansens Q-värde ger ett mått på omgivningens fukthalt. Sensorn beräknas kosta endast ca 1 dollar och mätavståndet mellan sensor och utläsningseenhet ligger strax under 1 dm.



Figur 28. Fuktsensor och utläsningseenhet utvecklad vid Helsinki University of Technology

4.5.4 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) används idag främst för kontaktlös övervakning av gods, men även i automatiska vägtullar, i biljetter för kollektivtrafik mm. Enkelt beskrivet består en RFID-krets av ett minne, som lagrar ett unikt ID-nummer, och en antenn, som tar emot en radiosignal från en avläsningsenhet och sedan skickar tillbaka ID-numret. Det finns både passiva (<0,5\$, räckvidd i storleksordningen 1 dm-1 m) och aktiva (\$20, lång räckvidd, >100 m) RFID-kretsar. Frekvenserna som används för kommunikationen mellan avläsningsenhet och RFID-krets ligger mellan 125 kHz och 5,8 GHz. Kretsarna som arbetar vid högre frekvenser har längre avläsningsavstånd.

RFID är i sig inget sensornätverk, men genom att ansluta en sensor till en RFID-krets fås ett trådlöst sensorsystem. Denna typ av sensorsystem används idag bl.a. för att övervaka däcktrycket i tunga lastbilar i USA (<http://www.techtionaryna.com/crosslink/rfid-truck.swf>). Det finns även RFID-baserade system som mäter temperatur. Flera företag nämner möjligheten att även mäta fukt och det är troligt att det kommer att dyka upp fuktkänsliga RFID-taggar.

Det finns många tillverkare av RFID-utrustning över hela världen t.ex. Philips (www.philips.com), Motorola (www.motorola.com) Intermec (www.intermec.com), KSW Microtec (www.ksw-microtec.de), RF Code Inc. (www.rfcode.com).

4.6 System med tråd mellan sensor och kommunikationsenhet.

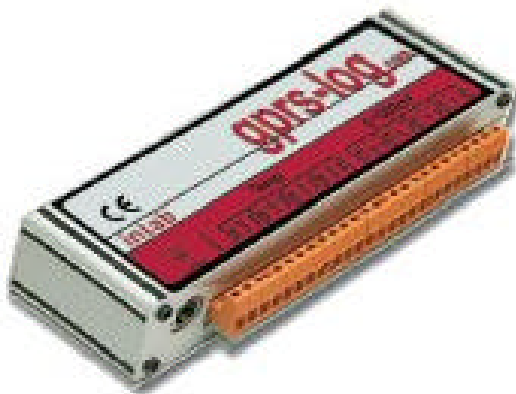
I detta avsnitt behandlas några system där sensorn är kopplad med en sladd till en insamlingsenhet som i sin tur kommunicerar trådlöst till omvärlden. Denna typ av system hamnar egentligen utanför vår definition av trådlösa sensorsystem, men vi har valt att ta med denna lösning eftersom det finns system som används i byggbranschen idag som fungerar på detta sätt.

4.6.1 Betongdatorn 5.0

Betongdatorn 5.0 är ett utvecklat, RBK-godkänt, system för fuktmätning i betong på distans. Systemet lagrar sensordata i en datalogger och via GSM-länk överförs informationen till en persondator. Varje sensor är idag förbunden till en sändarenhet, via kablar, vilken kommunicerar med dataloggen.

4.6.2 Intab

www.intab.se, datalogger som trådlöst via GSM-nätets datatjänst GPRS skickar aktuella mätvärden till mätserver. Sensorerna är förbundna med loggern via kablar. Loggern för sin spänningsmatning via nätet. Deras lämpligaste datalogger, GPRS-Log, kostar ca 11000 kr, till detta kommer runt 1000 kr/år för abonnemang till mätservern.



Figur 29. Datalogger från Intab som överför information via GSM.

4.6.2 Ytterligare aktörer

Det finns flera företag som säljer liknande lösningar, se t.ex. Omega, <http://www.omega.co.uk/> och T.A.C, <http://www2.tac.com/se>

5. Förslag på trådlösa mätsystem

I detta kapitel presenteras tre olika förslag på trådlösa mätsystem som kan vara av intresse för byggbranschen. De föreslagna systemen finns antingen färdiga att köpa eller är uppbyggda av komponenter som går att köpa. Målet är att de föreslagna systemen skall fokusera på att lösa några av de beskrivna behoven i kapitel 2 samt kraven som sammanfattats i kapitel 3.

5.1 System för många mätpunkter

Det första förslaget är ett nätverk med små pålitliga och driftsäkra sensorer, ett antal återsändare för att öka räckvidden samt en centralt placerad enhet för datainsamling. Datainsamlingspunkten kan anslutas till Internet eller ett GSM-modem för fjärranslutning och central datalagring. Detta öppnar möjligheten för att en person med specialistkunskap att övervaka flera olika byggen samtidigt.

Nätverkslösningen som detta förslag innebär kan med fördel användas både till svåråtkomliga mätpunkter och till svåröverskådliga mätningar, se kapitel 3.

Systemet kan byggas upp genom att någon av de mest lovande sensorerna som beskrivs i kapitel 4.1 ansluts till ett nätverk med standardprotokoll. Förslagsvis används inledningsvis en nätverkslösning av en tillverkare som kan leverera ett utvärderingskit. Det är av vikt att ändpunkten inklusive sensorn är liten, robust samt att batteriet har en livslängd på åtminstone något år.

Datainsamlingen sker med hjälp av en PC på byggarbetsplatsen som är ansluten till en dataserver via Internet eller GSM-länk. Databearbetning i form av eventuell kalibrering av mätvärdet eller jämförelse mot beräknade värden sker i anslutning till servern.

Datapresentation sker på en PC ansluten till Internet eller på en mobiltelefon. Genom att tilldela behöriga personer ett lösenordsskyddat konto på servern där mätdata samlas kan man hindra spridningen av mätvärden till obehöriga personer. Ett bevakningssystem av gränsvärden, felfunktioner med mera kan skötas via SMS-meddelanden.

5.2 Handhållna lösningar

Sensorer med inbyggd kommunikation som beskrivs i kapitel 4.5 är speciellt intressanta för enstaka mätningar i det lilla byggprojektet. Lösningen kan även i viss mån användas för att detektera skillnader över ett stort område, exempelvis i en hel ytterväggssyll. Vid mätning över stora områden placeras flera givare ut med ett visst mellanrum. Varje sensor är tämligen billig och kan byggas in på många av de svåråtkomliga mätpunkterna.

Den begränsade räckvidden är ofta inget problem om sensorn placeras i en byggnadsdel såsom en träregelvägg eller ett mellanbjälklag. Mätteknikern kan

ofta komma nära och hålla handinstrumentet mot ytan av konstruktionen sensorn monterats inuti.

Eftersom sensorn oftast byggs in kommer den att ”förbrukas” i den utsträckningen att den inte kan återanvändas i en ny mätsituation. Dock kräver dessa sensorer ingen intern strömförsörjning via ett batteri vilket medför att livslängden kan bli nära nog obegränsad i förhållande till byggnadens livslängd på kanske 100 år i bästa fall (förutsatt att sensorn i sig behåller sin funktion över tiden). En sensor som byggs in för att användas i byggskedet kan med andra ord även läsas av senare vid en miljö-besiktning, fuktskadeutredning eller då husets fukttekniska status av annan anledning behöver kartläggas.

Räckvidden hos avläsningen tillsammans med storleken, priset och utformningen av sensorerna avgör i vilka situationer de kan användas. Bland annat kan tillämpningar vid fasadens luftspalt, träregelväggar, uppreglade golvkonstruktioner samt ytbeklädnader i våtrum komma i fråga.

5.3 Indikering över stora områden

De olika systemen som bygger på mikrovågor uppvisar en potential för att framgångsrikt kunna användas till snabb indikering av fuktförhållanden över stora områden. Ett utvalt system från kapitel 4.4 kan användas för att detektera fuktiga områden samt fuktgradienter vid nybyggnation och i samband med utredning av fuktskada.

Dock är det oklart vilken förbättring det skulle innebära att överge dagens kapacitiva indikationer till förmån för mikrovågsteknik. Möjligen kan mikrovågstekniken ge en bättre bild med större upplösning av resultatet, speciellt av hur fuktfördelningen ser ut på större djup inne i konstruktionen.

5.4 En vision för uttorkning av byggfukt

En framtida vision för fuktmätning på byggarbetsplatsen kan vara ett tillförlitligt, enkelt och överskådligt system som bevakar allt – samtidigt.

Kanske består detta framtida system av en givare som monteras trådlöst på eller i konstruktionen på ett skyddat sätt så att varken miljön eller andra faktorer stör eller påverkar resultatet. Givaren kan sedan leverera tillförlitliga mätvärden under hela byggnadens livslängd, helst utan att underhåll av typen batteribyte eller kalibrering erfordras.

Det kalibrerade mätresultatet från givaren redovisas direkt på skärmen hos en Internetansluten dator genom ett klick på en ikon. Mätresultatet ges i form av en profil genom konstruktionen tillsammans med redovisning av omgivande torkklimat. Flera givare kan sammantaget ge en tredimensionell bild av fuktförhållandet i byggnadsdelen eller i hela byggnaden.

Ett prognosverktyg är kopplat till resultatredovisningen, ett förväntat torkförlopp kan jämföras med de uppmätta värdena så att skillnader från förväntat beteende kan synliggöras. I fallet med en tredimensionell redovisning kan stopplysets färger användas för att enkelt symbolisera fuktteknisk status de olika delarna av byggnadens.

Grönt – byggnadsdelen är kontinuerligt torrare än uppsatt gränsvärde.

Gult – byggnadsdelen är fuktigare än uppsatt gränsvärde men torkar enligt prognos.

Rött – byggnadsdelen är fuktigare än uppsatt gränsvärde och torkar inte enligt prognos.

6. Referenser

Brander P. 2004. Fuktrisker i håldäcksbjälklag – förstudie.

www.sbuf.se/projectdocuments/info/11186/SkanskaTeknik-HDF.pdf

VASKA, 2002. Vattenskadeundersökningen. Vattenskador i byggnader, redovisning. VVS-installatörerna. Stockholm.

Voutilainen et al. 2002, "Novel Measurement Method of Humidity within Construction Structures", Helsinki University of Technology Applied Electronics Laboratory, Series E: Electronics Publications E2, Espoo, Finland, 2002

6.1 Övrig litteratur

humidity-sensors.globalspec.com/ProductFinder/Sensors_Transducers_Detectors/Humidity_Moisture_Sensing En stor databas över företag som säljer fuktsensorer och instrument.

www.sowacs.com En stor portal för fukt i jord och mark, mängder av fuktmätningssystem.

Boken "Sensors Update Vol. 7", H.Baltes et al (ISBN 3-527-29821-5), som beskriver de olika mikrovågsmätmetoder i detalj och har en sammanställning av drygt 80 företag som jobbar med utveckling av mikrovågsinstrument för fuktmätning.